DISPENSA N°. 6

CORSO DI TECNICA DELLE

TELECOMUNICAZIONI

IN PARTICOLARE DI RADIOTECNICA

ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA

INDICE DELLE MATERIE DELLA DISPENSA N. 6

Riassunto delle materie trattate nella dispensa precedente . . . pag. 1

Radiotecnica . . . » 1
- Le onde delle radiotrasmissioni . . . » 2
- Onde portanti, onde non modulate e onde modulate . . . » 4
- La cuffia telefonica . . . » 5
- Il detector . . . » 6
- Domande . . . » 7

Matematica . . . » 7
- 10. Le frazioni (continuazione) . . . » 7
  - L'addizione e la sottrazione delle frazioni . . . » 8
- Risposte alle domande di pag. 7 . . . » 9

Impianti di segnalazione . . . » 9
- Altri tipi di suonerie . . . » 9
- Suonerie in derivazione ed a correnti inverse . . . » 10
- La suoneria a un sol colpo, e altre . . . » 11

Sorgenti di corrente nella tecnica delle telecomunicazioni . . . » 11
- Altri tipi di pile . . . » 11
- La pila a sacchetto di biossido di manganese . . . » 12
- L'accumulatore . . . » 12
- L'accumulatore al piombo . . . » 13
- La formazione delle piastre . . . » 13
- I vari tipi di piastre . . . » 13
- Gli accumulatori alcalini . . . » 14
- Domande . . . » 14

Radiotecnica . . . » 14
- Risonanza e sintonia . . . » 14
- Fenomeni di risonanza . . . » 15
- La risonanza nella radio . . . » 17
- La sintonia . . . » 17
- Domande . . . » 19
- Risposte alle domande di pag. 14 . . . » 19

Matematica . . . » 19
- 12. Le parentesi . . . » 19
  - L'eliminazione delle parentesi . . . » 19
- Domande . . . » 20
- Risposte alle domande di pag. 19 . . . » 21

Elettrotecnica generale . . . » 21
- L'autoinduzione . . . » 21
  - L'induttanza . . . » 22
  - L'unità di misura dell'induttanza . . . » 22
  - Collegamento in serie di induttanze . . . » 22
  - Collegamento in parallelo di induttanze . . . » 23
  - La costruzione delle bobine d'autoinduzione . . . » 23
  - La reattanza induttiva . . . » 23
  - Risposte alle domande di pag. 20 . . . » 24

Compiti . . . » 25

CORSO DI TECNICA DELLE TELECOMUNICAZIONI - RADIO

A CURA DELL'ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA

Dispensa N. 6

RIASSUNTO DELLA MATERIA TRATTATA NELLA DISPENSA PRECEDENTE

Nella Dispensa N.° 5 venne spiegato ceh cosa è la corrente elettrica « alternata », quali sono le sue caratteristiche e come essa possa essere rappresentata graficamente per mezzo di una particolare curva. Come paragone servì una corrente alternata d'acqua. Nello stesso tempo venne anche chiarito il concetto della « frequenza » della corrente alternata, la quale viene espressa con un numero di « periodi » al minuto secondo.

Nel capitolo di « Elettrotecnica generale » venne trattato della formazione di un campo magnetico intorno ad un conduttore diritto e ad un solenoide (bobina), quando essi sono percorsi da corrente. Avete poi imparato che cosa sia la forza « magnetomotrice » in un elettromagnete e come essa venga calcolata facendo il prodotto dell'intensità di corrente per il numero delle spire dell'avvolgimento (ampère-spire). Venne poi trattata la « induzione mutua » fra due bobine magneticamente accoppiate e avete appreso che questo fenomeno si manifesta nella bobina secondaria, chiudendo e aprendo il circuito della bobina primaria o anche solo variando l'intensità della corrente che vi circola. L'applicazione più comune della « induzione mutua » fra due bobine è il « trasformatore ».

Continuando la trattazione della Dispensa N.° 3, vi venne presentato lo schema, di un impianto telefonico semplice rappresentato con l'uso di simboli appropriati. A proposito di esso viene spiegato come, invece di due circuiti separati costituenti un collegamento a quattro fili, si possa usare un circuito unico che comprenda entrambi i microfoni ed entrambi i ricevitori, inseriti in serie realizzando, così, un collegamento a due soli fili.

I « trasformatori » hanno importanti applicazioni tanto in telefonia quanto in radiotecnica e perciò, nel capitolo « Elettrotecnica Generale » è stato spiegato che cosa sia e come funzioni un trasformatore. Ripetiamo qui brevemente le nozioni più importanti. Il trasformatore si compone di due avvolgimenti magneticamente accoppiati e funziona per il principio della « mutua induzione ». L'accoppiamento magnetico è aumentato, se si dispongono le due bobine su di un nucleo magnetico comune. Adducendo al circuito primario una corrente alternata, per effetto della mutua induzione, nel secondario si genera una tensione alternata. Dal secondario si può quindi prelevare della corrente alternata, la cui tensione dipende dal rapporto fra il numero delle spire del primario e del secondario. Il rapporto di trasformazione si calcola nel modo seguente:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

Si usa considerare come rapporo il quoziente nel quale il maggior valore di tensione o il maggiore numero di spire è indicato al numeratore. Salvo piccole perdite, che per ora non consideriamo, il trasformatore rende al secondario la stessa potenza del primario, e quindi da questa eguaglianza delle potenze si deduce il rapporto delle correnti che è l'inverso di quello delle tensioni. Infatti

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{w_2}{w_1}$$

Nel capitolo « Telefonia » venne descritto il sistema della « inserzione diretta » che consiste nel collegamento in serie, in un unico circuito, dei due microfoni, dei due ricevitori e della batteria. Questo sistema di inserzione è adatto solo per brevi distanze e quindi, in generale, per piccoli impianti domestici. Per poter superare grandi distanze bisogna ricorrere al sistema della « *inserzione indiretta* ». Esso consiste nel collegamento in serie dei ricevitori nel circuito, mentre ogni microfono con la relativa batteria è collegato al primario di un trasformatore, il secondario del quale è a sua volta inserito nel circuito dei ricevitori. In questo modo le oscillazioni della corrente microfonica vengono trasferite nel circuito telefonico attraverso il trasformatore, il quale serve anche ad amplificarle. Vennero infine mostrati i simboli grafici che rappresentano i trasformatori ed è stata descritta la costruzione di una « bobina di induzione », nome dato al trasformatore, quando viene impiegato nella tecnica telefonica.

RADIOTECNICA

Con quanto vi è stato sino ad ora spiegato le vostre cognizioni elettrotecniche sono ora tali da permettervi di penetrare più profondamente nei segreti della radiotecnica. Vogliamo spiegare ora in linee generali, come sia possibile che le onde sonore siano trasportate dalle onde elettriche dell'etere, e per di più in modo tale da poter essere ricevute a distanza. Per dirlo in termini tecnici, dovete ora apprendere come sucessioni di onde a bassa frequenza vengano « caricate » sulle onde ad alta frequenza, e con quali mezzi le onde dell'etere vengano ritrasformate in onde sonore, rese udibili attraverso gli apparecchi riceventi.

Le onde delle radiotrasmissioni

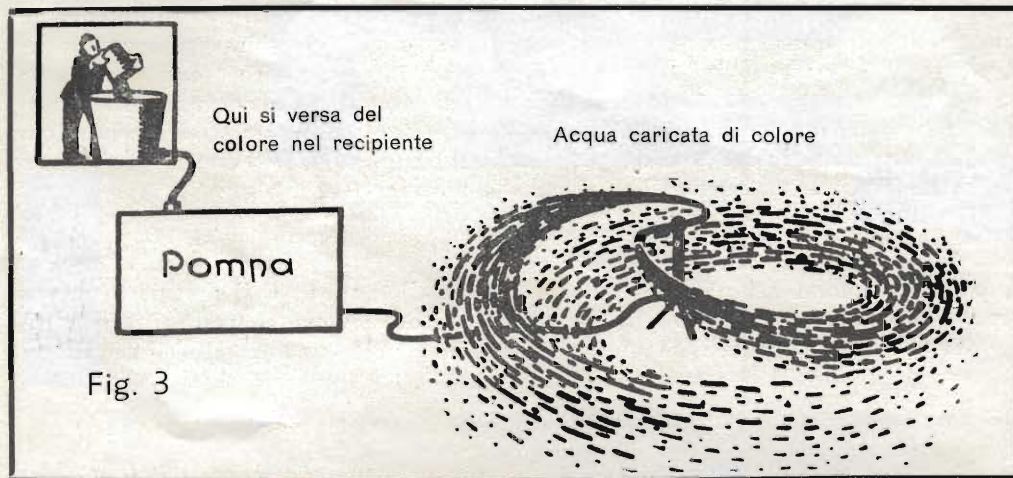
Cominciamo ancora una volta con un paragone. Nella fig. 1 si vede una pompa d'acqua, collegata per mezzo di una conduttura con un'inaffiatoio a girandola. La pressione esercitata dalla pompa sull'acqua fa sì che questa venga proiettata dalla girandola nello spazio circostante in tutte le direzioni.

Fig. 1

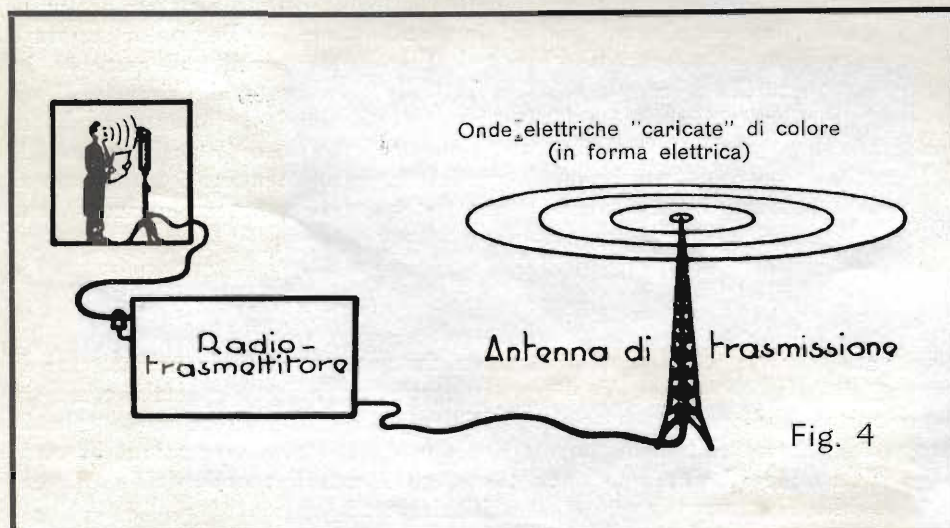
Ora un radiotrasmettitore, in fondo, non è altro che una « pompa » per le onde elettriche (fig. 2); esso è collegato per mezzo di una linea con l'antenna, dalla cui sommità le onde elettriche (dell'etere) si irradiano nello spazio in tutte le direzioni.

Onde elettriche
Radiotrasmettitore — (Pompa delle onde)
Antenna di trasmissione
Fig. 2

Immaginiamo ora che la pompa della fig. 1 oltre che con la sorgente d'acqua sia collegata per mezzo di una conduttura con un recipiente (fig. 3). Se ora versiamo in questo recipiente del colore, esso si aggiungerà all'acqua spinta dalla pompa. Di conseguenza la girandola proietterà in tutte le direzioni acqua colorata, cioè acqua « caricata » di colore.

Fig. 3

Osservate ora la fig. 4: si vede una persona che parla davanti ad un microfono, il quale è collegato per mezzo di una linea con un radiotrasmettitore. Il microfono trasforma le onde sonore in onde elettriche a bassa frequenza.

Queste pervengono al trasmettitore, dove si aggiungono alle onde elettriche ad alta frequenza che esso genera e che sono usate per la radiotrasmissione.

Fig. 4

Constatiamo così che, come nel caso della fig. 3 la girandola proiettava acqua « caricata » di colore, in questo caso l'antenna irradia onde dell'etere « caricate » di onde sonore che il microfono ha ridotto in forma elettrica. Il nostro paragone è quindi giustificato.

Le onde irradiate dall'antenna e non ancora « caricate » con onde sonore sono onde ad alta frequenza e vengono rappresentate graficamente per mezzo del diagramma della fig. 5.

Abbiamo chiamato più sopra queste onde: « ad alta frequen-

za ». Voi sapete già che cosa sono le onde « a bassa frequenza »: si tratta di onde del campo di frequenza acustico; le onde « ad alta frequenza » sono invece quelle che posseggono una frequenza molto più elevata. Un cosiddetto « treno d'onde » ad alta frequenza, come viene emesso dall'antenna trasmittente, è perfettamente uniforme; le singole onde hanno tutte la medesima *lunghezza*, le semionde positive sono uguali a qelle negative. Solo a grandi distanze dall'antenna l'*ampiezza* delle onde diminuisce lentamente; questo però per il momento non ci interessa, poichè vogliamo esaminare solo il comportamento di queste onde nelle immediate vicinanze dell'antenna di trasmissione.

Fig. 5

Un altro paragone meccanico vi faciliterà la comprensione di quanto avviene nella radiotrasmissione. Nella fig. 6 si vede un pendolo che viene fatto oscillare senza sosta da due uomini.

Fig. 6

Nel nostro ragionamento le oscillazioni del pendolo corrispondono alle oscillazioni elettriche emesse dal trasmettitore. Un apposito dispositivo, visibile esso pure nella fig. 6, permette di registrare graficamente le oscillazioni. A questo scopo l'estremità inferiore del pendolo è munito di una penna scrivente, la quale traccia l'andamento dell'oscillazione su di una striscia di carta che viene spostata con moto uniforme sotto di essa.

Sulla striscia di carta rimane quindi registrata una curva come quella della fig. 7; sopra la curva sono anche indicate le posizioni del pendolo che corrispondono ai punti principali della curva. Come si vede, la curva è perfettamente uniforme; si susseguono le semionde positive e quelle negative, tutte della medesima altezza, supposto naturalmente che i due uomini facciano sempre oscillare il pendolo in modo uniforme, come viene loro richiesto.

La maggiore o minore vicinanza delle singole onde tracciate sulla carta dipende unicamente dalla velocità con la quale la carta stessa viene fatta scorrere sotto al pendolo. Più la striscia si sposta lentamente, e più le onde risultano strette.

Nonostante ciò, la lunghezza dell'onda si mantiene sempre costante ed essa può essere determinata in base alla curva registrata sulla carta. È però allora necessario tenere conto anche della velocità della striscia di carta, cioè dello spazio che essa percorre in una determinata unità di tempo. Bisogna quindi riportare l'indicazione dei tempi impiegati sull'asse orizzontale indicato nella fig. 7.

Fig. 7

Questo asse orizzontale, detto anche « asse dei tempi », deve essere suddiviso in tratti fra di loro uguali rappresentanti lo spazio percorso dalla carta, ad esempio, in un minuto secondo, oppure in un decimo di secondo o anche in un centesimo di secondo. È evidente che la distanza fra le suddivisioni secondo l'unità di tempo prescelta, sarà tanto maggiore quanto più veloce sarà lo spostamento della carta. È quindi possibile che la curva

della fig. 5 rappresenti la medesima onda della fig. 7 cioè che esse siano prodotte da oscillazioni uguali del pendolo, ma la loro diversità consiste nel fatto che esse sono state disegnate in modo diverso perchè nei due casi sono state scelte due diverse distanze, cioè due velocità diverse, per rappresentare due tempi uguali.

Se, per esempio, la distanza A-B della fig. 7 equivale ad un decimillesimo di secondo, allora anche la distanza A-B della fig. 5, che è molto più corta, dovrà valere un decimillesimo di secondo; ciò supponendo sempre che le due figure rappresentino la stessa onda.

In pratica non è naturalmente possibile eseguire oscillazioni così rapide con un pendolo come quello di cui stiamo parlando; ciò però non ha importanza poichè il nostro scopo è quello di facilitare la comprensione di fenomeni elettrici con l'aiuto di un paragone con dei dispositivi meccanici. È quindi sufficiente immaginare che le oscillazioni lente del pendolo corrispondano alle rapidissime oscillazioni di natura elettrica.

Nella fig. 8 è disegnato un'altra volta il dispositivo meccanico di cui stiamo trattando, con la differenza che ora c'è in più un altro uomo (visibile in basso a sinistra), il quale cerca di frenare le oscillazioni del pendolo. Nel momento in cui il pendolo si sposta verso sinistra, egli ne arresta il movimento prima che abbia compiuta la sua corsa normale. Se l'uomo frena *una volta* sola, la curva tracciata sulla striscia di carta si presenterà come indicato nella fig. 9. Nei punti A e B il pendolo oscillava liberamente, mentre in C esso viene frenato, per cui l'ampiezza dell'oscillazione risulta ridotta, e ciò non solo da un lato, ma anche da quello opposto, perchè l'effetto frenante rimane efficace anche nell'oscillazione di ritorno.

È chiaro che l'effetto frenante potrebbe venire annullato, se i due uomini che azionano il pendolo tirassero con maggior forza; questa supposizione è però contraria alla premessa fatta nello stabilire il nostro paragone, e cioè che i due uomini tirino il pendolo in modo sempre uniforme.

La curva dell'oscillazione raggiunge quindi nuovamente il valore massimo nel punto E e quello minimo nel punto F, semprechè nel frattempo il pendolo non sia stato frenato un'altra volta.

Onde portanti, onde non modulate e onde modulate

Proseguiamo ora di un passo nel nostro paragone. Nella fig. 10-*a* è rappresentata graficamente un'onda sonora, che corrisponde ad un suono qualsiasi. Supponiamo che la forma di questa curva sia stata ritagliata con la sega in una lastra di legno (fig. 10-*b*) e che il nostro « frenatore » si serva ora di questa sagoma per limitare le oscillazioni del pendolo. Infatti, spostando la curva di legno nello stesso senso e con la medesima velocità della carta, egli fa in modo che il pendolo venga a battere contro di essa, regolando la sua corsa secondo le varie sporgenze o rientranze che esso incontra successivamente (fig. 11 a pag. 5).

La curva che viene tracciata allora sulla carta corrisponde a quella segnata con tratto nero continuo nella fig. 12. Si

parla in questo caso di un'« onda modulata », a differenza dell'« onda non modulata », rappresentata nella fig. 13 e visibile del resto, punteggiata, anche nella fig. 12. L'onda non modulata corrisponde quindi alle oscillazioni del pendolo non frenato, mentre l'onda modulata rappresenta il movimento del pendolo, limitato nell'ampiezza delle sue escursioni dalla curva di legno.

In radiotecnica si chiama « modulazione » il sistema che permette di caricare le onde sonore sulle onde di trasmissione.

Nella fig. 12 appaiono due altre curve, disegnate a trattini grossi. Esse delimitano da entrambi i lati l'onda modulata e sono « speculari » tra loro (una corrisponde all'altra come se fosse riflessa in uno specchio). Esse nella loro forma corrispondono esattamente all'originaria onda sonora della fig. 10-*a*, dalla quale era stata ricavata la sagoma di legno. La denominazione di « onda portante » riportata nella fig. 13 indica che si tratta dell'onda di trasmissione, sulla quale si vuole « caricare » l'onda sonora.

Fig. 11

I radiotrasmettitori generano delle oscillazioni che si possono rappresentare graficamente nello stesso modo che abbiamo visto ora. La fig. 13, per esempio, può rappresentare un'onda ad alta frequenza, non ancora modulata, cioè non « caricata » di onde sonore trasformate in onde elettriche. Supponiamo di poter « frenare » con un dispositivo adatto le oscillazioni di questa onda ad alta frequenza in modo da limitare l'ampiezza secondo la forma di un'onda sonora, come quella della fig. 10-*a*, si otterrà la stessa rappresentazione della fig. 12. È in questo modo che le onde sonore a bassa frequenza vengono caricate sulle onde elettriche ad alta frequenza. In pratica le onde sonore vengono ridotte in forma elettrica dal microfono e, con l'aiuto di appositi dispositivi, passano poi a modulare le onde ad alta frequenza emesse nell'etere dal radiotrasmettitore.

Fig. 12

Onda modulata

Fig. 13

Onda non modulata (onda portante)

L'onda dell'etere (ossia l'onda portante ad alta frequenza), caricata di suoni, viene irradiata dall'antenna trasmittente e perviene infine ad una antenna ricevente. Attraverso un cosiddetto « cavo di discesa », l'onda arriva ad un polo di un ricevitore telefonico (fig. 14). L'altro polo del ricevitore telefonico è collegato direttamente con la terra. Se però qualcuno, con un simile dispositivo, credesse ora di poter ascoltare i suoni trasportati dall'onda portante, proverebbe una grave disillusione.

Fig. 14

La cuffia telefonica

Nella tecnica dell'alta frequenza si usa generalmente, in luogo del comune ricevitore telefonico, la cosidetta « cuffia » costituita da due sistemi ricevitori fissati ad una staffa di metallo, che viene calzata sul capo (fig. 15).

Se colleghiamo la cuffia all'antenna, come è disegnato nella figura, le oscillazioni ad alta frequenza provenienti

dall'onda portante attraversano gli avvolgimenti dei ricevitori della cuffia. Le membrane telefoniche non sono però in grado di seguire delle vibrazioni così rapide, ed il tecnico dice che le membrane « non rispondono » alle alte frequenze. D'altra parte si potrebbe pensare che le membrane seguissero almeno le vibrazioni sonore, più lente, che l'onda portante trasporta con sè sotto forma di oscillazioni d'ampiezza della successione di onde. Anche questo però non è possibile, come spiegheremo subito.

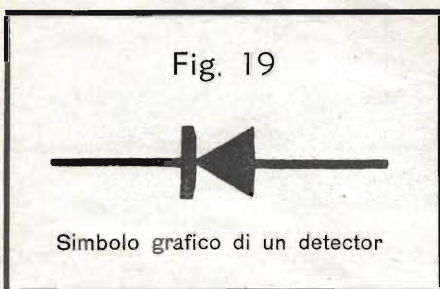
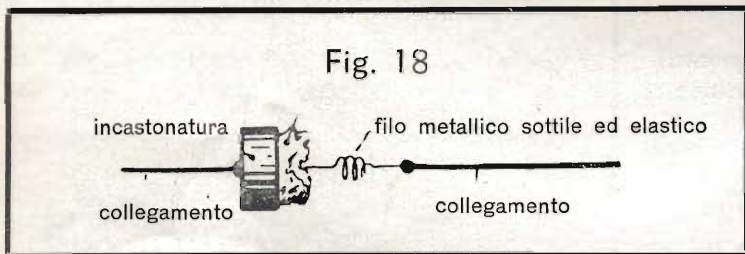
Osservate le curve dell'onda portante nella fig. 16 al momento S. Qui la semionda positiva ha l'altezza R-S e la corrispondente semionda negativa la profondità S-T di eguale misura. Supponiamo che le semionde positive corrispondano a correnti positive e quelle negative a correnti negative. Se ora la corrente R-S provoca l'attrazione delle membrane telefoniche, la corrente S-T ne provoca invece nello stesso istante la repulsione; di conseguenza le membrane non si muovono affatto.

Se fosse però possibile eliminare le correnti negative, cioè tagliare la metà inferiore della fig. 16, allora potremmo udire nella cuffia le oscillazioni sonore, perchè, agendo soltanto le semionde positive, le membrane seguirebbero le variazioni di queste. Esiste effettivamente in pratica un dispositivo adatto a questo scopo, di cui parleremo nel prossimo paragrafo. Grazie a questo dispositivo, la corrente circolante nella cuffia telefonica può effettuare delle oscillazioni equivalenti a quelle dell'onda sonora trasportata dall'onda portante.

Ora i ricevitori telefonici non rispondono alle oscillazioni ad alta frequenza dell'onda portante, ma rispondono molto bene alle sue variazioni d'ampiezza, le quali sono a loro volta uguali alle oscillazioni dell'onda sonora. La fig. 17 rappresenta l'onda sonora alla quale risponde la cuffia telefonica: è la medesima onda che venne impressa al microfono del trasmettitore, e da questo tradotta in forma elettrica.

Onda sonora in forma elettrica (come si presenta dai fili uscenti dal microfono)

Il detector

Il dispositivo, atto ad eliminare una metà delle onde ricevute ed al quale abbiamo accennato in precedenza, è il cosiddetto « *detector* ». Si tratta semplicemente di un « raddrizzatore », cioè di un organo che lascia passare la corrente in una sola direzione. Le oscillazioni in arrivo all'antenna del ricevitore si manifestano come correnti alternate che passano attraverso il cavo di discesa e le linee collegate; esse hanno direzione ora positiva ora negativa. Per mezzo del « raddrizzamento », che verrà spiegato più dettagliatamente in seguito, si ottiene di conservare solo una metà della corrente alternata, cioè solo quella circolante in direzione positiva oppure solo quella di direzione negativa; l'altra metà viene soppressa. Il detector raddrizza dunque la corrente alternata.

Nella fig. 18 è rappresentato un detector utilizzato nella radio. Si tratta di uno speciale cristallo (galèna), incastonato in una capsula di metallo, al quale viene appoggiata la punta di un sottile filo metallico. In merito vi daremo in seguito maggiori particolari.

Simbolo grafico di un detector

La fig. 19 mostra il simbolo di un detector, e nella fig. 20-*a* e 20-*b* sono riportate due forme costruttive più comuni di tale dispositivo. La fig.

21-*a* rappresenta la curva di una corrente alternata; nella fig. 21-*b* si riconosce la medesima curva, nella quale però la parte inferiore è stata soppressa per mezzo di un detector.

Fig. 20

Nella fig. 22 infine si vede lo schema di un circuito nel quale è inserito un detector. Se ai morsetti A e B di questo circuito viene allacciata una tensione alternata, nel circuito non passa corrente alternata, bensì solo una « metà » della corrente alternata, cioè una corrente raddrizzata o « corrente pulsante » (solamente positiva o solamente negativa).

Fig. 21

a) Curva di una corrente alternata

b) Curva di una corrente alternata condotta attraverso un Detector: solo la parte superiore può passare

Per terminare questo capitolo, vediamo nella fig. 23 quali siano in pratica i collegamenti essenziali di un radioricevitore che utilizzi un detector. Abbiamo il detector ed un ricevitore telefonico collegati in serie ed allacciati da un lato all'antenna, dall'altro alla terra. In questo modo ai morsetti A e B viene applicata una tensione alternata, fornita dall'onda ed alta frequenza modulata (cioè caricata di suoni), propagata attraverso l'etere. Il detector lascia passare soltanto una metà dell'onda portante, e così il ricevitore risponde alle vibrazioni acustiche da essa trasportate.

L'impianto radioricevitore rappresentato nella fig. 23, data la sua semplicità, permette l'audizione di una stazione trasmittente soltanto nelle immediate vicinanze della stessa. Quando si tratta di distanze maggiori, bisogna ricorrere all'aiuto di bobine e condensatori: ma di questo parleremo in seguito.

Fig. 22

Può darsi che alcune cose di questo capitolo non vi siano apparse ancora perfettamente comprensibili; non per questo vi dovete però scoraggiare! Era nostra intenzione dare uno sguardo d'insieme al problema della modulazione e demodulazione delle onde portanti; ritorneremo in seguito ripetutamente sui vari dettagli che entrano in considerazione, fino ad ottenere la chiarezza più completa.

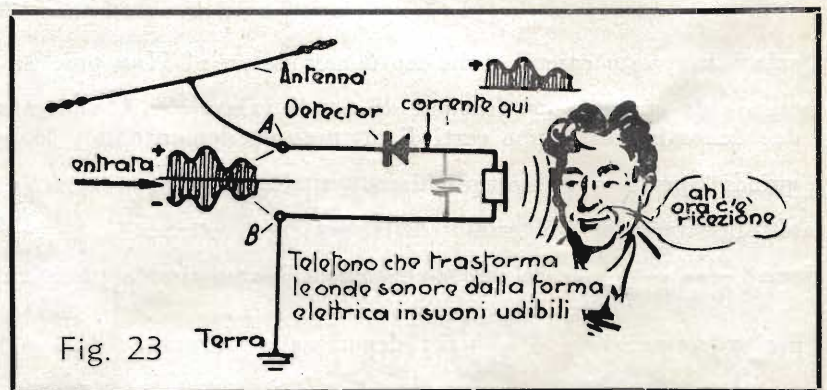
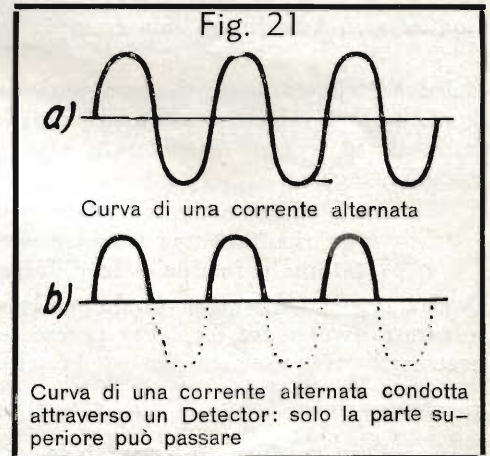
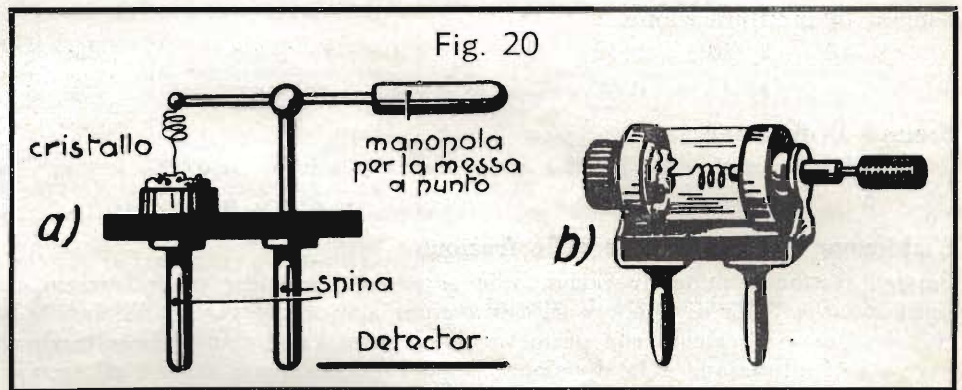
Fig. 23

Domande

1. Come si chiama un'onda radio non influenzata dalle oscillazioni sonore (in forma elettrica)?
2. Qual'è il nome che si dà alle onde usate per la radiotrasmissione?
3. Qual'è il compito del detector?

MATEMATICA

10. Le frazioni (continuazione dalla Dispensa N. 5, pag. 20).

Nell'ultima lezione di matematica ci siamo occupati delle operazioni di moltiplicazione e di divisione tra le frazioni. Prima di proseguire oltre in questo argomento sarà bene eseguire una ripetizione risolvendo gli esempi che vi proponiamo qui di seguito. Ciò sarà molto utile e vi servirà per poter comprendere più rapidamente questo ramo della matematica.

Esempi di moltiplicazione.

1). $\frac{2}{5}\cdot\frac{10}{13}=\frac{2}{1\not{5}}\cdot\frac{\not{1}\not{0}\,2}{13}=\frac{2}{1}\cdot\frac{2}{13}=\underline{\frac{4}{13}}$; 2). $\frac{3\,a}{5\,c}\cdot\frac{b}{x}=\underline{\frac{3\,a\,b}{5\,c\,z}}$; 3). $\frac{2\,a^2}{5\,b}\cdot\frac{b}{a}=\frac{2\,a^2\,b}{5\,b\,a}=\frac{2\,a\,\not{a}\,\not{b}}{5\,\not{b}\,\not{a}}=\frac{2\,a\,a\,b}{5\,b\,a}=\underline{\frac{2\,a}{5}}$;

Esempi di divisione.

1). $\frac{2\,a^2}{b}:a=\frac{2\,a^2}{b\,a}=\frac{2\,a\,\not{a}}{b\,\not{a}}=\frac{2\,a}{b}$; 2) $\frac{a}{b}:\frac{x}{y}=\underline{\frac{a\,y}{b\,x}}$

L'addizione e la sottrazione delle frazioni.

Perchè, trattando delle operazioni che si possono eseguire tra le frazioni, ci siamo occupati prima della moltiplicazione e della divisione e solo ora giungiamo a spiegare l'addizione e la sottrazione? Semplicemente perchè il sistema di calcolo che permette di eseguire l'addizione e la sottrazione è meno semplice di quello usato per la moltiplicazione e la divisione. Dopo l'insegnamento avuto e gli esempi ed esercizi risolti nel calcolo delle frazioni, vi sarà facile anche l'apprendere come si esegue la loro addizione e la loro sottrazione.

Cominciamo quindi con due esempi: $\frac{3}{6}+\frac{2}{6}=\frac{5}{6}$; $\frac{3}{6}-\frac{2}{6}=\frac{1}{6}$

I due esempi ora esposti, sono però così facili che su di essi non necessita dare particolari spiegazioni. In essi le operazioni rispettivamente di addizione nel primo e di sottrazione nel secondo, sono state così facili per il fatto che le frazioni considerate avevano ogni volta lo stesso denominatore. Possiamo perciò enunciare questa semplice regola:

> « L'addizione o la sottrazione fra loro di due o più frazioni aventi il medesimo denominatore, dà per risultato una frazione che ha il medesimo denominatore delle frazioni considerate e per numeratore la somma o la differenza fra i loro numeratori ».

Questa regola non serve quindi per le operazioni di somma o sottrazione fra le frazioni che hanno un denominatore diverso fra loro. Per potere sommare o sottrarre fra loro frazioni di denominatore diverso è quindi necessario trasformarle in modo che esse abbiano tutte un medesimo denominatore. Osservate il seguente esempio: $\frac{3}{6}+\frac{1}{3}=$? Vediamo che i denominatori delle due frazioni sono fra loro differenti. Dobbiamo allora trasformare la frazione $\frac{1}{3}$ in modo che il suo denominatore diventi un 6. Possiamo ottenere ciò moltiplicando per 2, tanto il numeratore che il denominatore: $\frac{1}{3}\cdot\frac{2}{2}=\frac{2}{6}$. Alla frazione $\frac{1}{3}$ possiamo quindi sostituire quella $\frac{2}{6}$ che ha uguale valore e con ciò abbiamo ottenuto che le due frazioni da sommare abbiano un denominatore uguale. In casi come questo si dice che le due frazioni sono state « ridotte a denominatore comune » e si parla quindi di « minimo comun denominatore ». Nel nostro caso, infatti, il numero 6 è il minimo comune denominatore e possiamo quindi effettuare l'addizione $\frac{3}{6}+\frac{2}{6}=\frac{5}{6}$ e ci accorgiamo che si tratta dello stesso esercizio che abbiamo già svolto all'inizio di questo capitolo.

Ed ora ecco un altro esercizio: $\frac{1}{2}-\frac{1}{3}=$?

Quale è in questo caso il « minimo denominatore »? Non può essere 3 perchè non è possibile trasformare $\frac{1}{2}$ in modo da ottenere una frazione di eguale valore con il denominatore 3. Se però moltiplichiamo fra di loro i due denominatori, siamo certi di ottenere un denominatore comune. Il comune denominatore che ci interessa è quindi *2 per 3* = *6*. Moltiplichiamo quindi per 3 i termini della frazione $\frac{1}{2}$ e avremo $\frac{1}{2}=\frac{2\,.\,3}{1\,.\,3}=\frac{3}{6}$ e moltiplichiamo per 2 i termini della frazione $\frac{1}{3}$ ottenendo $\frac{1}{3}=\frac{1\,.\,2}{3\,.\,2}=\frac{2}{6}$. Possiamo ora eseguire la sottrazione $\frac{3}{6}-\frac{2}{6}=\frac{1}{6}$ e ci accorgiamo che abbiamo risolto precedentemente un esercizio uguale.

Un altro esempio: $\frac{1}{4}+\frac{1}{3}=$?; denominatore comune: 4 . 3 = 12 e con lo stesso procedimento usato per il caso precedente: $\frac{1}{4}=\frac{1\,.\,3}{4\,.\,3}=\frac{3}{12}$; $\frac{1}{3}=\frac{1\,.\,4}{3\,.\,4}=\frac{4}{12}$; $\frac{3}{12}+\frac{4}{12}=\frac{7}{12}$.

Lo stesso procedimento viene usato anche, quando, invece di una operazione fra due frazioni, si deve eseguire la somma o la sottrazione di un numero maggiore di frazioni con denominatori diversi. Nel corso delle spiegazioni che vi verranno date successivamente, avrete modo di esercitarvi ancora in questo particolare calcolo.

Le medesime regole che abbiamo applicato per il calcolo di frazioni numeriche (aritmetiche), valgono anche per il calcolo di frazioni letterali (algebriche). Gli esempi seguenti possono quindi essere facilmente compresi senza difficoltà.

$\frac{2}{a}+\frac{1}{a}=\frac{3}{a}$; $\frac{c}{a}+\frac{d}{a}=\frac{c+d}{a}$; $\frac{2}{a}-\frac{1}{a}=\frac{1}{a}$; $\frac{c}{a}-\frac{d}{a}=\frac{c-d}{a}$;

In questi casi il trovare il risultato esatto è stato facile, perchè si tratta di frazioni che in ogni operazione hanno fra di loro il denominatore uguale.

Nel problema $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = ?$, dove le frazioni che vi appaiono hanno denominatori diversi, dobbiamo trovare innanzitutto il comune denominatore. Esso si ottiene moltiplicando fra di loro i due denominatori ed è quindi $a \cdot b$. Dobbiamo perciò trasformare ognuna delle due frazioni moltiplicando tanto il numeratore che il denominatore di una delle frazioni per a e dell'altra per b. Eseguendo questa moltiplicazione per la frazione $\frac{1}{a}$ otteniamo: $\frac{1}{a} = \frac{1 \cdot b}{a \cdot b} = \frac{b}{a b}$. Trasformando la frazione $\frac{1}{b}$ otteniamo invece $\frac{1}{b} = \frac{1 \cdot a}{b \cdot a} = \frac{a}{a \cdot b}$. Ora, che abbiamo ridotte le due frazioni allo stesso denominatore, possiamo eseguire facilmente la loro addizione ed otteniamo $\frac{b}{a b} + \frac{a}{a b} = \frac{a + b}{a b}$ (oppure $\frac{b + a}{a b}$).

Una applicazione pratica di un calcolo letterale (algebrico), come quello che abbiamo ora eseguito, la troverete nel prossimo capitolo sulla « Elettrotecnica Generale ».

Nel caso non aveste ben compreso il modo, con il quale deve essere effettuata la somma di frazioni algebriche, considerate di nuovo la risoluzione dell'esempio $\frac{1}{4} + \frac{1}{3} = ?$ che certamente avrete compresa. Nell'esempio $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = ?$ abbiamo la lettera a in luogo del numero 4 e la lettera b in luogo del numero 3, ma il procedimento di calcolo è sempre lo stesso. Infatti, se inseriamo questi due numeri al posto delle due corrispondenti lettere nel risultato ottenuto, avremo:

$$\frac{a + b}{a b} = \frac{4 + 3}{4 \cdot 3} = \frac{7}{12}$$

e questo risultato corrisponde a quello ottenuto nel calcolo della espressione numerica (aritmetica) già considerata.

Osservazione. Poichè l'addizione e la sottrazione di frazioni sono spesso laboriose, in pratica si preferisce talvolta eseguire i calcoli trasformando le frazioni in numeri decimali, la cui somma o sottrazione è molto più facile. La trasformazione di una frazione in numero decimale si ottiene, dividendo il numeratore per il denominatore: $\frac{2}{5} + \frac{3}{4} = ?$ è uguale a $0{,}4 + 0{,}75 = 1{,}15$.

Per effettuare con rapidità e sicurezza queste operazioni, è molto utile l'uso del regolo calcolatore. L'uso di tale strumento può essere appreso con lo studio del nostro breve corso « Il Calcolo col Regolo ». Richiedetene il programma.

Risposte alle domande di pag. 7

1. Un'onda radio non influenzata da vibrazioni acustiche (in forma elettrica) si chiama onda « non modulata ».
2. Le onde di trasmissione si chiamano anche « onde portanti ».
3. Il detector « raddrizza »» le successioni d'onde ad alta frequenza ricevute.

IMPIANTI DI SEGNALAZIONE

Altri tipi di suonerie

Trattando delle suonerie a corrente continua, ne abbiamo descritto finora un tipo solo: la « *suoneria ad autointerruzione* », così chiamata perchè nel suo funzionamento essa interrompe continuamente la propria corrente d'alimentazione. La suoneria ad autointerruzione costituisce il tipo più semplice di campanello elettrico; esamineremo ora alcune varianti più perfezionate.

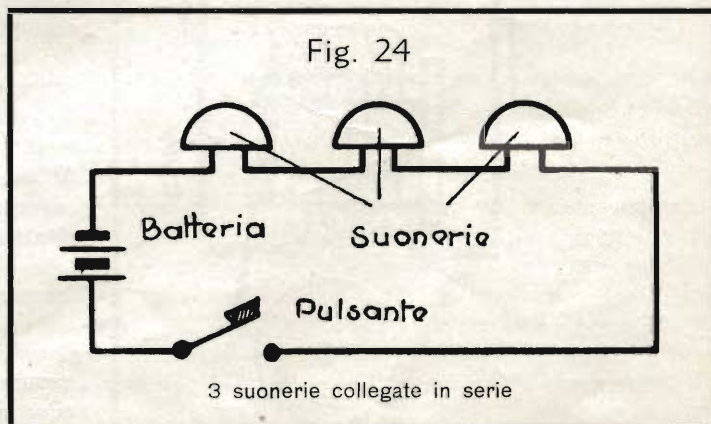
Voi già conoscete il collegamento in serie degli utilizzatori di corrente e non troverete quindi nulla di strano se, in determinati casi, si desidera collegare in serie varie suonerie. Se però si tratta di suonerie ad autointerruzione, avviene che quando l'ancoretta della prima suoneria è attratta, essa interrompe la corrente anche nelle altre suonerie ed è quindi difficile riuscire a ottenere un funzionamento regolare. La cosa è evidente, se si osserva la fig. 24, nella quale è stato usato il simbolo generale per suonerie.

3 suonerie collegate in serie

Fig. 25

Simbolo grafico di una suoneria a corrente continua

Fig. 26

Simbolo grafico di una suoneria a corrente alternata

Nelle figg. 25 e 26 questo simbolo è maggiormente specificato; infatti la fig. 25 indica una *suoneria a corrente continua*, mentre la fig. 26 rappresenta una *suoneria a corrente alternata*, caratterizzata dal segno ondulato che già conoscete come simbolo della corrente alternata.

Suonerie in derivazione ed a correnti inverse

Dovendo collegare in serie varie suonerie a corrente continua, invece di quelle ad autointerruzione, si usano le cosidette « suonerie in derivazione » oppure le « suonerie a correnti inverse ». La fig. 27 rappresenta schematicamente una *suoneria in derivazione*. Supponiamo che la corrente circoli nella direzione indicata dalle frecce. Essa proviene dal morsetto A e durante il funzionamento della suoneria si suddivide nel punto di derivazione B. La corrente attraversa da una parte gli avvolgimenti dell'elettromagnete, dall'altra raggiunge il punto C passando attraverso al contatto U. Premendo il pulsante del campanello, la corrente passa dapprima soltanto attraverso le bobine dell'elettromagnete il quale attrae l'ancoretta e chiude il contatto U. La corrente si divide allora in due vie, ma la parte maggiore passa per quella più facile, quella cioè attraverso il contatto U e l'ancoretta. Le bobine infatti hanno una resistenza molto più elevata e vengono quindi ad essere attraversate non più dall'intera corrente, ma solo da una minima parte.

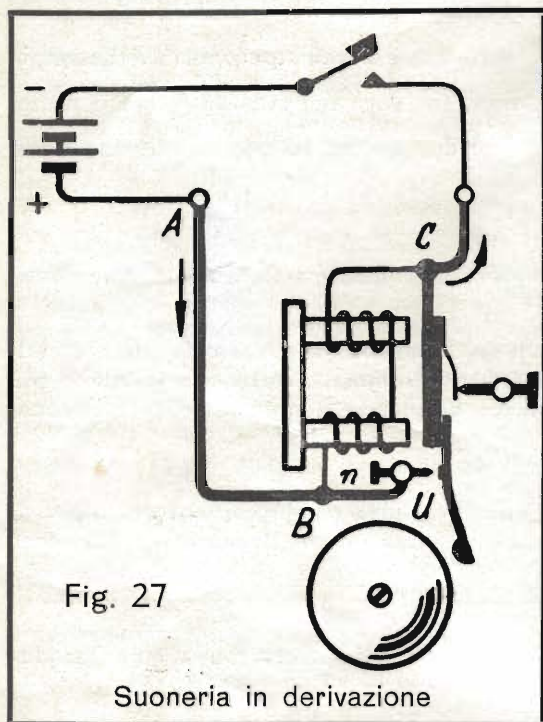



Fig. 27

Suoneria in derivazione

In questo momento l'elettromagnete rimane quindi tanto indebolito che la sua forza non è più sufficiente per trattenere l'ancoretta e quindi questa si distacca e interrompe il contatto U. Di conseguenza la corrente complessiva è obbligata a passare nuovamente tutta attraverso alle bobine, e così l'ancoretta viene attratta un'altra volta, e tutto il gioco torna a ripetersi. In questo tipo di suoneria il circuito non rimane perciò mai interrotto; e quindi la suoneria in derivazione può essere usata in qualsiasi caso in cui sia necessario collegare in serie varie suonerie a corrente continua. Il nome « suoneria in derivazione » proviene dal fatto che la corrente oltre che in un ramo principale può passare anche attraverso il secondo ramo chiamato « derivazione ». Le bobine e l'ancoretta sono infatti collegate in parallelo, o come si dice pure, in « derivazione ».

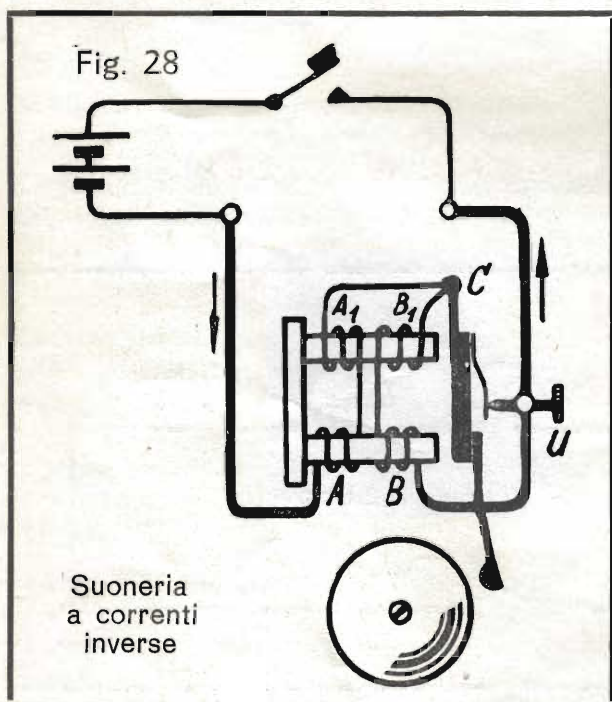
Fig. 28

Suoneria a correnti inverse

Nel collegamento in serie, oltre alla suoneria in derivazione, si può usare, come abbiamo detto prima, anche la « *suoneria a correnti inverse* ».

I nuclei elettromagnetici di questo tipo portano due avvolgimenti distinti, ma di ugual numero di spire, inseriti *in opposizione* tra loro (fig. 20). In altre parole, se per esempio gli avvolgimenti A e A_1 sono disposti attorno ai nuclei nel senso delle lancette dell'orologio, gli avvolgimenti B e B_1 devono essere disposti nel senso contrario. Questa particolare disposizione fa sì che quando la corrente circola contemporaneamente in entrambe le coppie d'avvolgimenti, l'effetto elettromagnetico si annulla e non si forma quindi alcun campo magnetico.

Alimentando una siffatta suoneria a correnti inverse, la corrente attraversa dapprima solo gli avvolgimenti A e A_1, ritornando alla batteria attraverso l'ancoretta ed il contatto U. Gli avvolgimenti B e B_1 non vengono attraversati dalla corrente, perchè sono « *cortocircuitati* », ossia « esclusi » dal percorso della corrente e quindi impossibilitati ad agire. La corrente infatti percorre il collegamento fra i punti C ed U, inserito in parallelo, il quale offre una resistenza molto inferiore a quella degli avvolgimenti stessi. In queste condizioni, l'ancoretta viene natu-

ralmente attratta. Le due coppie di avvolgimenti $A\text{-}A_1$ e $B\text{-}B_1$, rimangono allora inserite in serie, per cui l'elettromagnete si *smagnetizza*. L'ancora si stacca di nuovo dall'elettromagnete, il contatto U viene chiuso, gli avvolgimenti $B\text{-}B_1$ sono cortocircuitati, ed il gioco ricomincia daccapo.

Anche nelle suonerie a correnti inverse il circuito rimane sempre chiuso; questa è la ragione per cui anche questo tipo di suoneria a corrente continua si può usare nei collegamenti in serie.

La suoneria a un solo colpo, e altre.

Vogliamo descrivere ora un altro tipo di suoneria, col quale, premendo il pulsante, si ottiene un colpo solo.

La costituzione di questa suoneria è assai semplice, e risulta dalla fig. 29. Osservate il percorso della corrente, senza badare dapprima ai collegamenti punteggiati. Quando si chiude il contatto in A, l'elettromagnete attrae l'ancora ed il battacchio dà un colpo solo. L'ancora rimane attratta, finchè si preme il pulsante A. In questo tipo di suoneria si utilizzano sistemi elettromagnetici particolarmente robusti, affinchè il colpo contro il campanello risulti forte e ben distinto.

Fig. 29

Suoneria a un sol colpo
(punteggiato: Suoneria ad autointerruzione)

Un dispositivo supplementare permette di utilizzare la suoneria a un sol colpo anche come suoneria normale; occorre allora il collegamento punteggiato nella fig. 29.

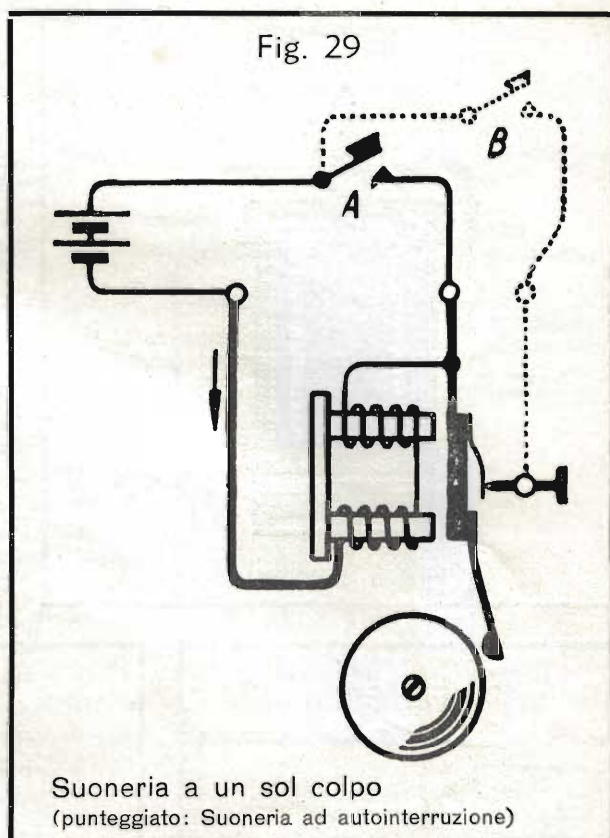
Quando invece del contatto A viene premuto il contatto B si ottiene il normale trillo del campanello. La fig. 29-*a* rappresenta il simbolo della suoneria a un sol colpo.

Per terminare ricordiamo che esistono anche suonerie cosiddette « a scatola», nelle quali il sistema elettromagnetico col battacchio è contenuto nell'interno del timpano », come si chiama anche la campana della suoneria. Le « cicaline » non posseggono nè il timpano, nè il battacchio, ed emettono perciò soltanto un ronzio. Nella fig. 30 sono visibili alcuni tipi usati di timpani; i primi tre hanno sezione rotonda, mentre il quarto tipo, detto « tirolese », è ovale.

Fig. 29 a

Simbolo grafico di una suoneria a un sol colpo

Fig. 30

Timpani da suoneria

SORGENTI DI CORRENTE NELLA TECNICA DELLE TELECOMUNICAZIONI

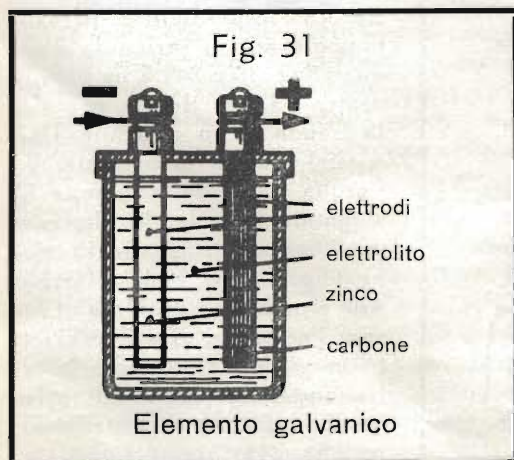
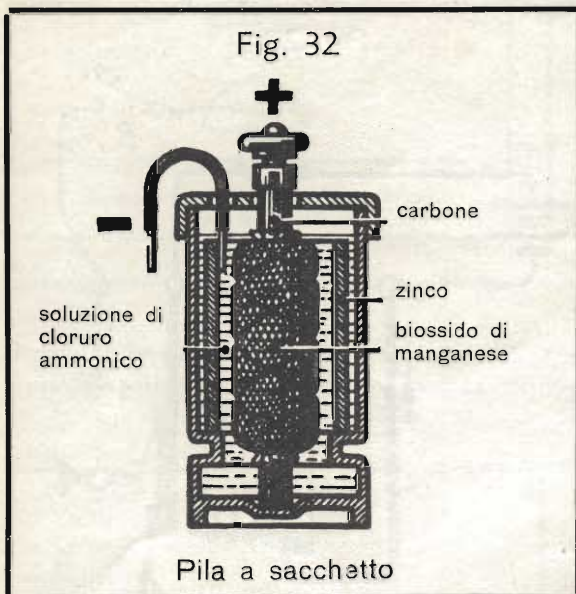
Altri tipi di pile

Nelle Dispense N. 1 e 2 abbiamo già parlato brevemente delle pile, vogliamo ora procedere un poco in questo argomento.

Fig. 31

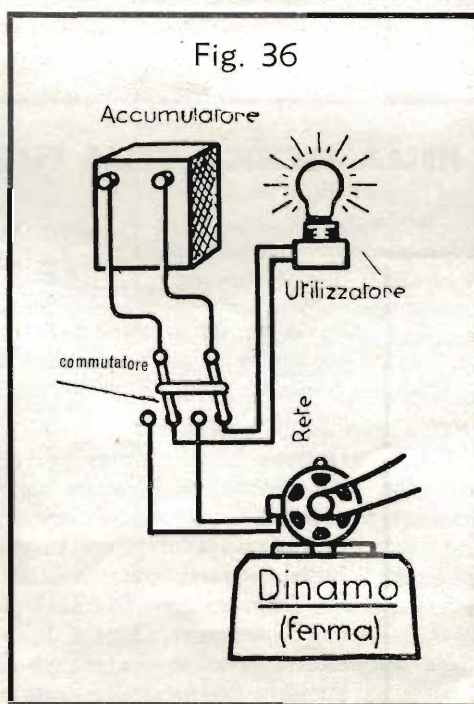
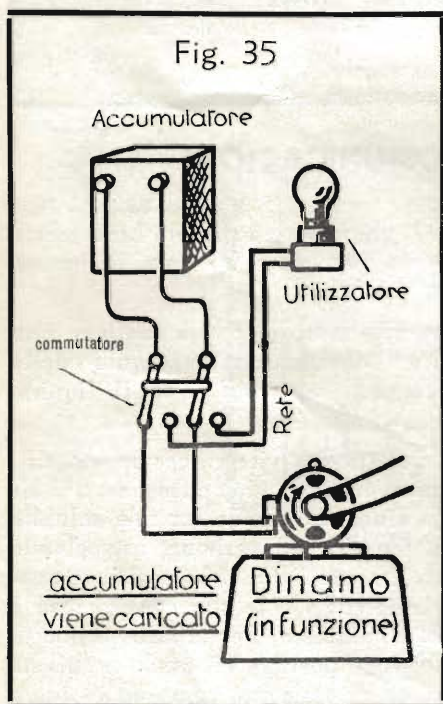
Elemento galvanico

Nella fig. 31 è rappresentata una pila semplice; essa contiene una bacchetta di zinco ed un'altra di carbone immerse nel liquido della pila. Le due bacchette si chiamano « *elettrodi* », ed il liquido « *elettrolito* ».

Quando la pila eroga corrente, l'elettrolito viene decomposto chimicamente; si formano soprattutto due gas, cioè idrogeno e ossigeno. L'ossigeno si unisce con lo zinco, formando un sale solubile nell'acqua. L'idrogeno invece si deposita sul carbone, ostacolando in tal modo il contatto dell'elettrolito con l'elettrodo positivo; questo fenomeno si chiama « polarizzazione » e la sua conseguenza è che la tensione erogata dalla pila diminuisce. Per eliminare questo effetto dannoso si aggiunge all'elettrodo positivo (il quale si chiama anche « *ànodo* ») una sostanza ricca di ossigeno, come ad esempio

il biossido di manganese. L'idrogeno generato nella decomposizione dell'elettrolito si associa quindi all'ossigeno di questa sostanza formando acqua, che ritorna nel liquido liberando l'anodo.

La pila a sacchetto di biossido di manganese.

La cosiddetta « *pila a sacchetto di biossido di manganese* » è costituita secondo i concetti sopra espressi. Essa è visibile in sezione nella fig. 32.

La bacchetta di carbone è fasciata da un sacchetto contenente biossido di manganese, e l'elettrodo negativo, chiamato anche « *càtodo* », è formato da un cilindro di zinco che circonda il tutto ad una certa distanza. Come elettrolito viene usata una soluzione di cloruro ammonico, ottenuta sciogliendo del sale ammonico in acqua piovana bollita oppure in acqua distillata. Per una pila contenuta in un recipiente alto 25 cm occorrono circa 150 grammi di sale ammonico, mentre per un recipiente da 16 cm bastano 100 grammi. L'elettrolito deve riempire il vaso fino ad un centimetro dall'orlo superiore. Poichè naturalmente la soluzione è soggetta all'evaporazione, di tanto in tanto bisogna aggiungere acqua distillata.

L'accumulatore

L'accumulatore può essere considerato un recipiente capace di immagazzinare dell'energia elettrica fornitagli da una sorgente qualsiasi: sia da una pila che da una dinamo.

L'accumulazione dell'energia elettrica e la sua restituzione al momento del bisogno, avvengono per mezzo di reazioni chimiche fra gli elementi che compongono l'accumulatore. L'uso degli accumulatori ha grande importanza per potere disporre di una sorgente di corrente anche dove non esistono impianti alimentati da generatori; essi servono anche in quei casi in cui degli apparecchi utilizzatori richiedono una sorgente di corrente propria, oppure quando occorra una sorgente di corrente particolarmente stabile. È da precisare che l'accumulatore riceve ed eroga solo corrente continua.

Per ben comprendere che cosa sia un accumulatore paragoniamolo ad un serbatoio d'acqua (figg. 33 e 34). Una pompa aspira l'acqua da un pozzo e la manda in un serbatoio. Uno speciale rubinetto consente che l'acqua vada dalla pompa al serbatoio impedendo che essa passi nella rete di distribuzione (fig. 33). Quando il serbatoio è pieno e si desidera utilizzare l'acqua, si gira il rubinetto in modo da chiudere la tubazione della pompa ed aprire quella della rete di distribuzione (fig. 34).

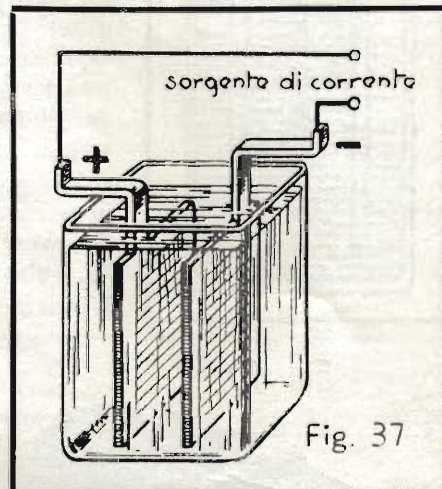
Nelle figg. 35 e 36, vediamo invece il corrispondente impianto che permette di immagazzinare e distribuire, energia elettrica.

Al posto dell'acqua, abbiamo qui dell'energia elettrica, in luogo del serbatoio un accumulatore e, invece della pompa, un generatore di corrente continua; il rubinetto è qui sostituito da un commutatore il quale, secondo le necessità, consente di collegare l'accumulatore con il generatore per essere caricato oppure con la rete di distribuzione per fornire l'energia elettrica precedentemente immagazzinata agli apparecchi utilizzatori quali la lampadina indicata nelle figure.

L'accumulatore al piombo.

Un accumulatore elettrico è sostanzialmente costituito da due piastre di piombo immerse in un recipiente isolante contenente acido solforico diluito (fig. 37). Se si collegano la piastre di piombo ai poli di una sorgente di corrente continua (una dinamo ad es.), la corrente di quest'ultima passa allora dalla piastra positiva a quella negativa attraversando l'acido solforico diluito. Il liquido allora si scompone in idrogeno ed ossigeno. L'ossigeno si sviluppa sulla piastra positiva e si combina con il piombo formando biossido di piombo, una massa di colore bruno scuro che riveste tutta la superficie dell'elettrodo positivo. L'idrogeno sin dall'inizio della « carica » (come si chiama l'invio della corrente dalla dinamo nell'accumulatore) va alla piastra negativa, ma poi nello stadio avanzato della carica, sfugge in forma gassosa facendo assumere alla superficie dell'elettrodo negativo un aspetto spugnoso.

Fig. 37

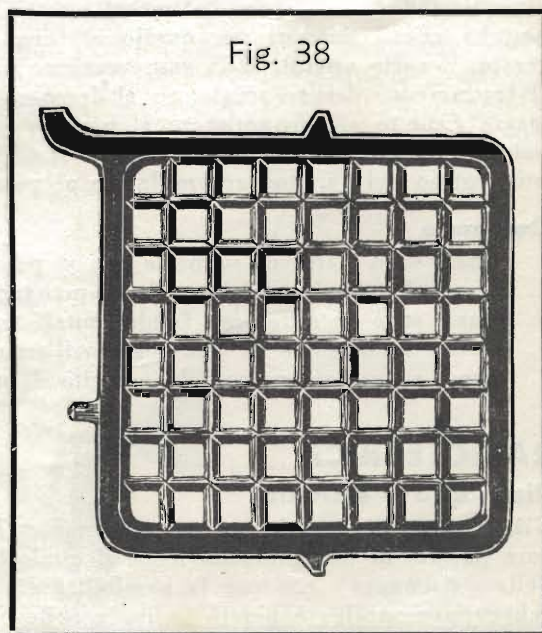
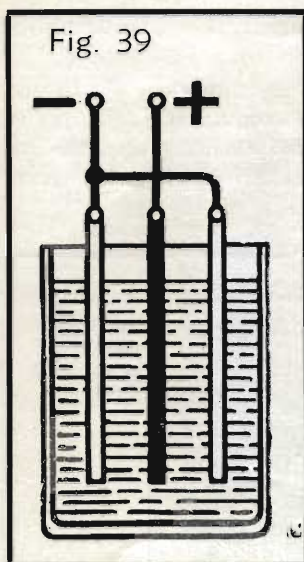
La polarità delle piastre di un accumulatore si riconosce quindi facilmente per la loro colorazione caratteristica; la piastra *positiva è bruna* (biossido di piombo); quella *negativa è grigia* (piombo spugnoso).
Se stacchiamo l'accumulatore dalla sorgente di corrente possiamo ricavare ed utilizzare la corrente che precedentemente gli era stata fornita, allacciando le due piastre ad un consumatore; la corrente esce allora nel circuito esterno dalla piastra che durante la carica era collegata al polo positivo del generatore di corrente, ma non per questo la piastra cambia la sua polarità. È importante rammentare che la polarità dell'accumulatore rimane sempre la stessa, tanto durante la «carica» che durante la « scarica ». Durante la carica, cioè quando l'accumulatore è collegato al generatore di corrente, i collegamenti non devono mai essere invertiti perchè altrimenti le piastre ne risulterebbero danneggiate.

La formazione delle piastre.

Impiegando delle piastre di piombo comuni, la capacità di caricarsi di un accumulatore, dopo la sua prima carica, è molto scarsa. Con successive e ripetute cariche e scariche, la capacità aumenta, perchè aumenta sulle piastre rispettivamente lo strato di biossido di piombo e di piombo spugnoso. La maggiore o minore capacità di carica dipende quindi dallo spessore di questi strati che vengono chiamati anche « massa attiva ». Il processo di generazione di strati sufficientemente grossi di massa attiva, si chiama « formazione ».
La formazione con il procedimento delle successive cariche e scariche dell'accumulatore è cosa lunga e costosa e per questa ragione si preferisce preparare le piastre in precedenza, applicando direttamente su di esse la necessaria massa attiva. A questo scopo si usa del minio per la piastra positiva e della limatura di piombo per quella negativa.

I vari tipi di piastre.

Le piastre preparate, come abbiamo sopra specificato, posseggono sin dalla prima carica una capacità di accumulazione normale. Poichè però la massa attiva applicata sulle piastre normali si distacca facilmente, si è perfezionato il sistema adottando le cosiddette « piastre a griglia » (fig. 38) nelle cui aperture viene pressato lo spessore necessario di massa attiva. Un perfezionamento ulteriore nella preparazione delle piastre positive si è ottenuto applicando contemporaneamente i due procedimenti a cui abbiamo accennato; come prima cosa si procede con il sistema delle cariche e scariche successive allo scopo di generare sulle piastre un sottile strato spugnoso, poi si pressa la massa attiva nelle aperture delle piastre stesse.

Negli accumulatori moderni si usano ora « piastre a griglia », « piastre a grande superficie » e « piastre a massa ». Le piastre a griglia, tanto positive che negative sono costituite da una griglia a maglie larghe di una lega di piombo-antimonio dove, come già abbiamo detto, viene pressata la massa attiva. Le piastre a grande superficie sono invece piastre fuse in piombo dolce dotate di numerose e finissime nervature, in modo da ottenere una superficie molto estesa. Queste piastre devono naturalmente essere sottoposte al processo di « formazione » allo

Fig. 38

scopo di generare la necessaria massa attiva.

Le piastre a grande superficie vengono usate esclusivamente come piastre positive e in questo caso come piastre negative si impiegano normali piastre a griglia. Le piastre a grande superficie possono essere sottoposte ad un esercizio più gravoso, e cioè essere caricate e scaricate più rapidamente degli altri tipi. Le *piastre a massa* infine sono costituite da un telaio (o una cassetta) di piombo duro, che viene riempito con la massa attiva.

Le piastre degli accumulatori al piombo vanno sempre immerse in acido solforico diluito la cui concentrazione è ben determinata. La tensione tra una piastra positiva ed una negativa è in media uguale a 2 volt. Durante la scarica la tensione può scendere fino a un minimo di 1,85 volt (dopodichè è bene che la scarica venga interrotta); nella ricarica, la tensione sale fino a un massimo di 2,7 volt.

Il tipo più semplice di accumulatore è dotato di due piastre negative ed una positiva, quindi di tre piastre. Poichè se la piastra positiva venisse influenzata chimicamente da *una sola piastra negativa*, essa col tempo si piegherebbe da un lato. Se invece essa si trova in mezzo a due piastre negative, come è mostrato nella fig. 39, subisce lo stesso effetto su entrambe le facce e rimane quindi diritta. L'insieme delle 3 piastre costituisce una cosiddetta « cella ».

Per la carica, gli accumulatori vanno allacciati ad una sorgente di corrente continua attraverso una resistenza. Daremo in seguito ulteriori spiegazioni su questo argomento. La fig. 40 mostra un accumulatore al piombo a più celle, aperto.

1) Custodia in ebanite.
2) Coperchio in ebanite.
3) Tappi in ebanite.
4) Serie di piastre positive.
5) Serie di piastre negative.
6) e 7) Separatore.
8) Tubo fissaggio separatori.
9) Boccola di tenuta per il polo.
10) Connessione.
11) Morsetto.

Gli accumulatori alcalini.

Il fatto che gli accumulatori ora descritti siano costituiti di piombo e di suoi composti, e siano pertanto assai pesanti, ha fatto sorgere da tempo il desiderio di trovare dei nuovi tipi di accumulatori nei quali il piombo fosse sostituito da altri metalli più leggeri. Per di più gli accumulatori al piombo richiedono una manutenzione accurata e non sono particolarmente robusti. Il nuovo tipo doveva quindi eliminare anche questi difetti.

Sviluppando le loro indagini in questo senso, *Edison* e lo svedese *Jungner* pervennero alla costruzione dell'« accumulatore alcalino ». Questo tipo non possiede piastre di piombo; l'elettrolito, anzichè d'acido solforico, è costituito da soluzione di potassa caustica al 20 %. La piastra positiva è costituita da lamiera di ferro nichelata e perforata; la massa attiva è idrato di nichelio. La piastra negativa è di ferro e cadmio; il recipiente è di lamiera di ferro.

Questi accumulatori al ferro-nichel presentano notevoli vantaggi rispetto agli accumulatori al piombo, ai quali fanno però riscontro vari difetti. Per questa ragione nella tecnica si impiegano, secondo i casi, entrambi i tipi.

Gli accumulatori al piombo si scaricano in un certo grado anche quando non vengono usati; gli accumulatori al ferro-nichel invece no. La carica eccessivamente prolungata è nociva per l'accumulatore al piombo, mentre non ha effetti dannosi per quello al ferro-nichel, come non ne ha la carica con intensità di corrente esagerata, il corto circuito o la conservazione nello stato non caricato.

Il trattamento dell'accumulatore al ferro-nichel richiede molto meno riguardi; ma però il suo principale svantaggio rispetto all'accumulatore al piombo è costituito dal fatto che la tensione ammonta a solo circa 1,2 volt per cella. Il rendimento raggiunge solo il 65 % contro circa il 75 %, e infine l'accumulatore al ferro-nichel è più costoso del comune accumulatore al piombo.

Domande

1. Quali sono i tipi di suonerie che si possono usare per il collegamento in serie?
2. Qual'è il compito del biossido di manganese nella pila a sacchetto?
3. Quali sono le differenze fondamentali tra gli accumulatori al piambo e quelli al ferro-nichel?
4. Qual'è la tensione di una cella nell'accumulatore al piombo e in quello al ferro-nichel?
5. Come si può riconoscere la polarità di un accumulatore al piombo caricato?

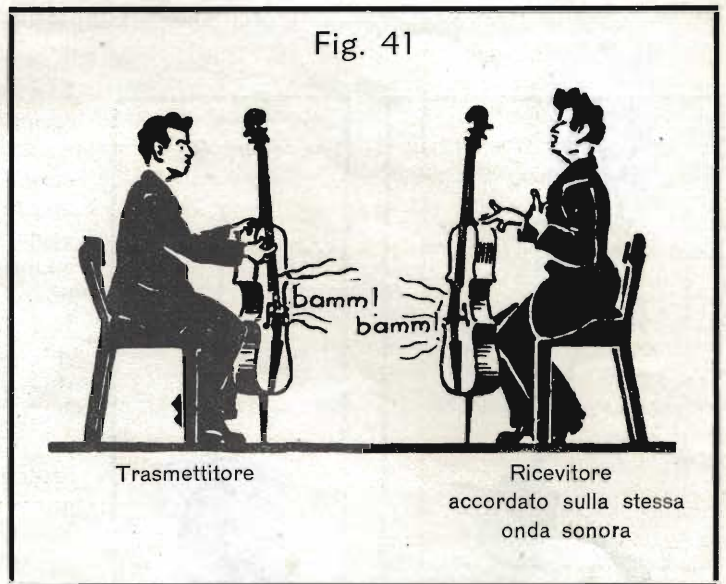
RADIOTECNICA

Risonanza e sintonia

Già avete appreso varie nozioni sulla radiotelegrafia e sulla radiotelefonia ma, sino ad ora, non abbiamo ancora parlato di un fenomeno fisico il quale ha una parte decisiva nella tecnica dell'alta frequenza. Si tratta della « risonanza » e, senza la possibilità di applicare i suoi principi, l'intera tecnica dell'alta frequenza sarebbe impensabile; è perciò indispensabile che di questo fenomeno ci occupiamo ora un po' estesamente.

Fenomeni di risonanza.

Avrete sicuramente notato che quando si suona un pianoforte, spesso, anchè senza che essi siano appoggiati sullo strumento, certi oggetti si mettono a tintinnare. Osservando con attenzione, vi sarete anche accorti che il tintinnio si verifica e si ripete solo quando il pianoforte emette determinate note. Questa manifestazioni sono dovute alla « risonanza », il fenomeno che ora descriveremo.

La fig. 41 rappresenta due violoncellisti. Quello di sinistra ha pizzicato una corda del suo strumento ed ecco che nello strumento di destra risuona la stessa nota senza che alcuno abbia toccata la corrispondente corda. Ciò è avvenuto, perchè nello strumento di destra si è messa a vibrare la corda corrispondente a quella che è stata pizzicata nello strumento di sinistra, e ciò è possibile, purchè i due strumenti siano perfettamente « accordati » fra loro; solo a queste precise condizioni la corda che emette il suono nello strumento può provocare il medesimo suono nello strumento di destra. In altre parole le due corde devono essere tali da vibrare con la medesima frequenza (numero di vibrazioni al secondo) ed è quindi chiaro che esse devono avere uguali dimensioni e, in particolare, uguale lunghezza ed uguale tensione.

Il fenomeno di cui abbiamo parlato si verifica praticamente in questo modo: le onde sonore prodotte dalla corda pizzicata nello strumento di sinistra, colpiscono tutte le corde dello strumento di destra facendole vibrare. Mentre le altre vibrano leggermente, la corda accordata con la medesima nota emessa dallo strumento di sinistra vibra invece più forte e con la stessa frequenza acustica dello strumento trasmettitore. Ciò avviene perchè la « frequenza » propria della corda ricevitrice corrisponde alla frequenza delle onde sonore in arrivo.

Questa uguaglianza di frequenza si chiama « risonanza » Le onde sonore in arrivo colpiscono la corda ricevitrice con lo stesso ritmo, con il quale essa vibra e, in questo modo, le vibrazioni di quest'ultima vengono sempre più rinforzate sino al punto da produrre un suono chiaramente percepibile senza che la corda sia stata toccata da alcuno.

Vogliamo spiegare in modo ancor più chiaro questo fenomeno, servendoci di un altro paragone. Una mela pende da un ramo situato in alto. Un ragazzo vorrebbe coglierla, ma non arriva a toccarla. Dal ramo però si diparte un ramoscello che il ragazzo, sebbene a stento, riesce ad afferrare. Manovrando con abilità egli riuscirà probabilmente a tirare a sè il ramo grosso con la mela; deve però fare attenzione a non tirare troppo forte, altrimenti il ramoscello potrebbe spezzarsi.

Il fanciullo, perciò deve cominciare a tirare leggermente e per breve tratto il sottile ramoscello che riesce ad afferrare, lasciandolo però ritornare indietro e molleggiare liberamente. Seguendo sempre col braccio le oscillazioni del ramo, senza frenarle, cercando anzi di ingrandirle tirando ogni volta sempre più in basso il ramo-

scello, egli riuscirà a produrre delle oscillazioni semprepiù ampie del ramo grosso, fino a poter raggiungere e cogliere la mela.

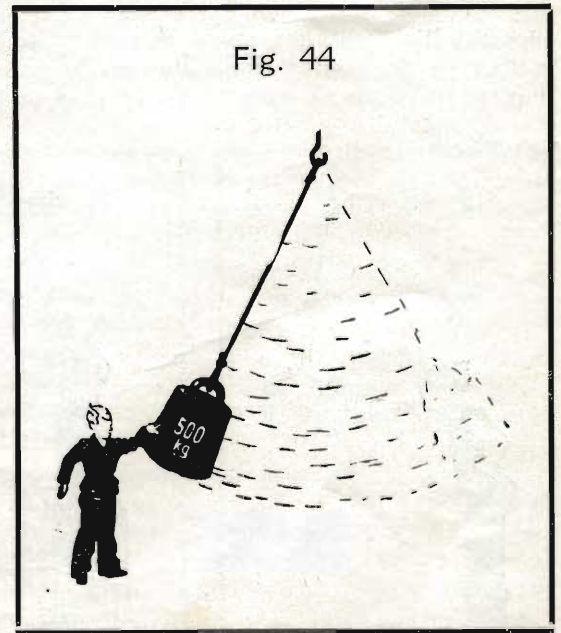
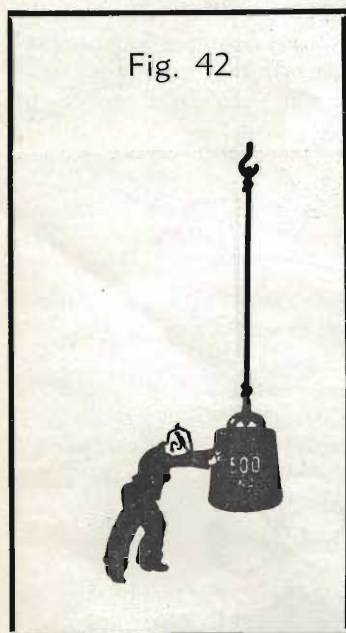
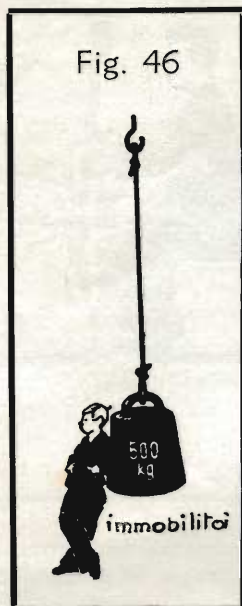



Fig. 45

Fig. 46

È questo un esperimento che chiunque può ripetere. Un secondo esperimento potrà servire a chiarire ancor maggiormente questi fenomeni. Un grossissimo peso pende da una corda e un ragazzo ha il compito di farlo oscillare ampiamente (fig. 42). Egli però non è abbastanza forte per poter ottenere ciò con un solo spintone, ma con un po' di abilità e con un minimo dispendio di forza egli riuscirà ugualmente, a produrre delle ampie oscillazioni del grosso pendolo » (fig. 43).

A questo scopo basta infatti che il ragazzo incominci con l'imprimere al pendolo delle oscillazioni piccolissime; dopo però bisogna che egli faccia seguire delle altre spinte sempre esattamente al momento in cui il pendolo, dopo essersi avvicinato il massimo a lui, sta per allontanarsi nuovamente.

Ripetendo le spinte varie volte, sempre nel momento giusto e quindi in un ritmo ben determinato, il grosso peso finirà per compiere delle oscillazioni molto ampie, senza che il ragazzo abbia dovuto compiere un grande sforzo (fig. 44).

Fig. 47

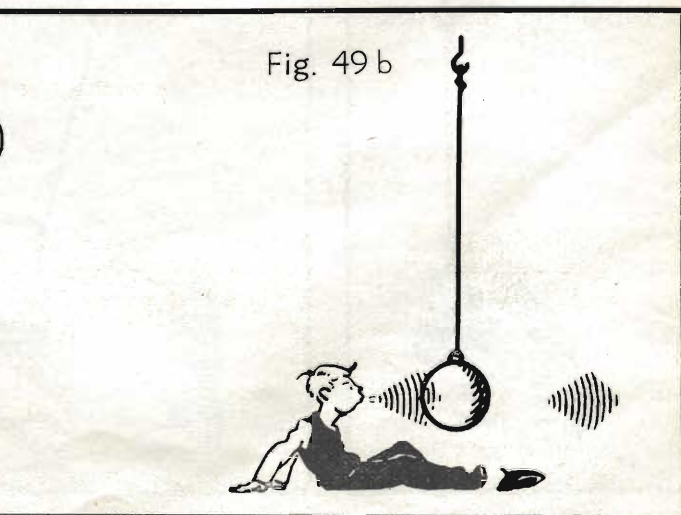
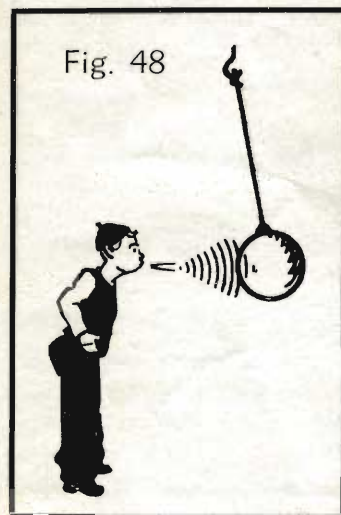
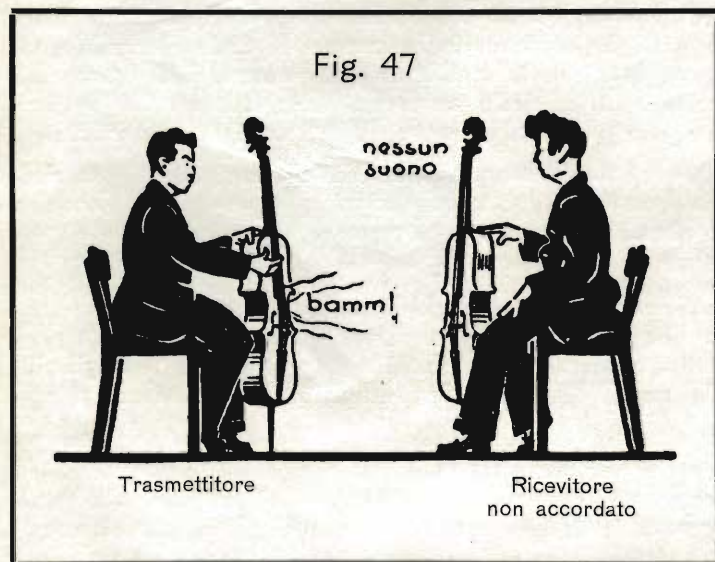
Se invece le spinte successive alla prima venissero impresse dal ragazzo negli istanti sbagliati, le oscillazioni, invece di diventar più ampie, verrebbero smorzate (fig. 45) e il pendolo potrebbe addirittura arrestarsi completamente (fig. 46); in questo caso le spinte non erano « in accordo » con le oscillazioni del pendolo; non erano cioè adattate alle esigenze del « sistema oscillante ».

Osservazioni analoghe ne avrete già fatte con l'altalena; anche con questa le oscillazioni si possono facilmente aumentare, senza fatica, dando le spinte nel momento giusto. Allo stesso modo, con minimo dispendio di forza, si riesce perfino ad abbattere la ciminiera di una fabbrica; basta far susseguire leggere spinte a giusti intervalli. L'oscillazione impressa al camino con la prima spinta può essere talmente leggera, da essere in pratica addirittura impercettibile. Ciononostante il grande camino, finisce per crollare. L'impressionante risultato ottenuto con mezzi così limitati è dovuto a una causa sola: la « risonanza ».

Sempre per la stessa ragione si vieta talvolta a reparti militari di attraversare un ponte marciando a passo cadenzato. Potrebbe infatti accadere che le proprietà oscillatorie del ponte corrispondessero a quelle prodotte dalla cadenza della marcia, e allora i conseguenti fenomeni di risonanza potrebbero influire sulla stabilità della costruzione e far temere il pericolo di un crollo.

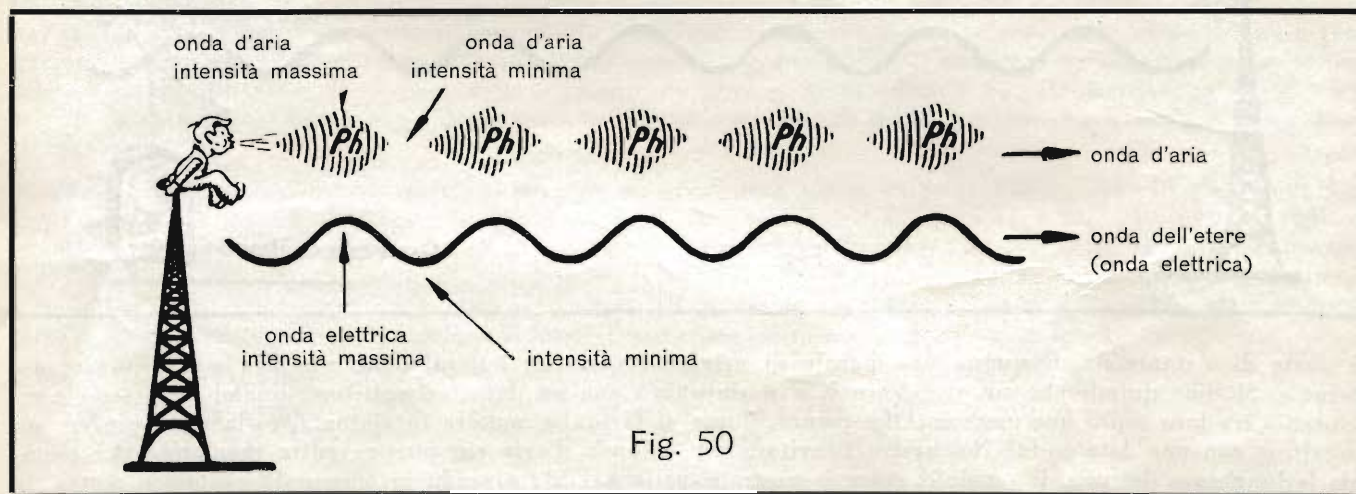
Fig. 48

Fig. 49 a

Fig. 49 b

Consideriamo ancora brevemente l'esempio già fatto circa la risonanza che si verifica fra due strumenti musicali. Da quanto abbiamo sino ad ora visto, è chiaro che se la corda che emette il suono nel primo strumento e la corrispondente corda del secondo strumento non sono fra loro perfettamente accordate, quest'ultima non risuona. Possiamo quindi considerare il primo strumento come un « trasmettitore » ed il secondo come un « ricevitore ». Nel primo caso che abbiamo visto (fig. 41) vi era risonanza perchè gli strumenti erano fra di loro accordati; nel secondo caso (fig. 47) il ricevitore è rimasto muto perchè non era accordato con la frequenza del trasmettitore.
Ed ora un altro esempio ancora: è possibile provocare l'oscillazione del pendolo rappresentato nella fig. 48, semplicemente soffiando contro di esso? Certamente questo è possibile, purchè i soffi si susseguano a intervalli corrispondenti alla frequenza propria del «sistema oscillante » costituito dal pendolo.
Se invece il ragazzo, soffiando sempre nello stesso ritmo del caso precedente, vorrà provare a mettere in oscillazione un pendolo più corto oppure uno più lungo di quello già considerato (dotati quindi di frequenza propria diversa), per quanto forte egli soffi, ciò non gli riuscirà (figg. 49-*a* e 49-*b*).
Da ciò si deduce che, cambiando il sistema oscillante, ossia la frequenza propria, del ricevitore, è necessario variare anche il ritmo dei soffi, accordandolo su di essa.

La risonanza nella radio.

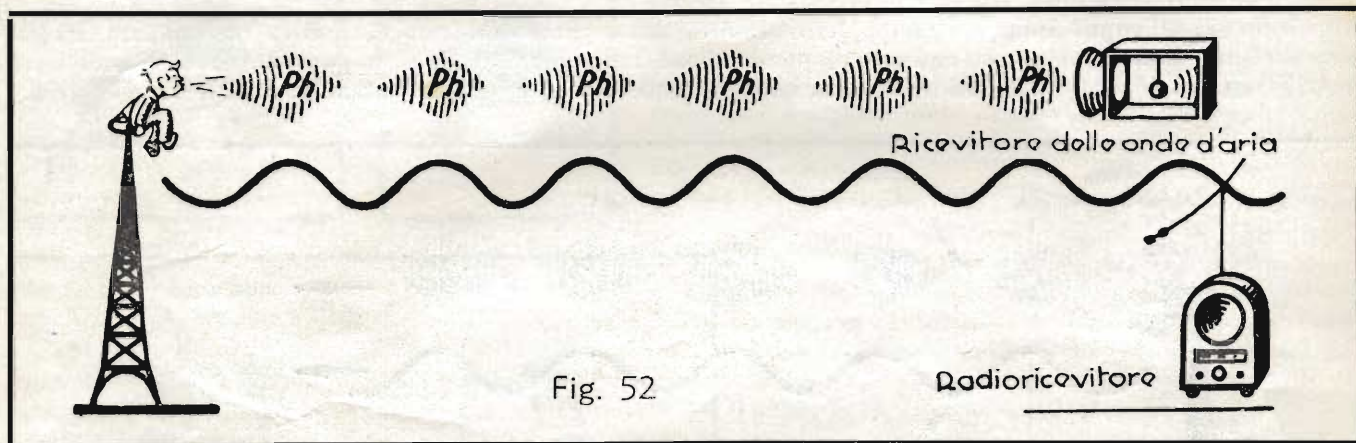
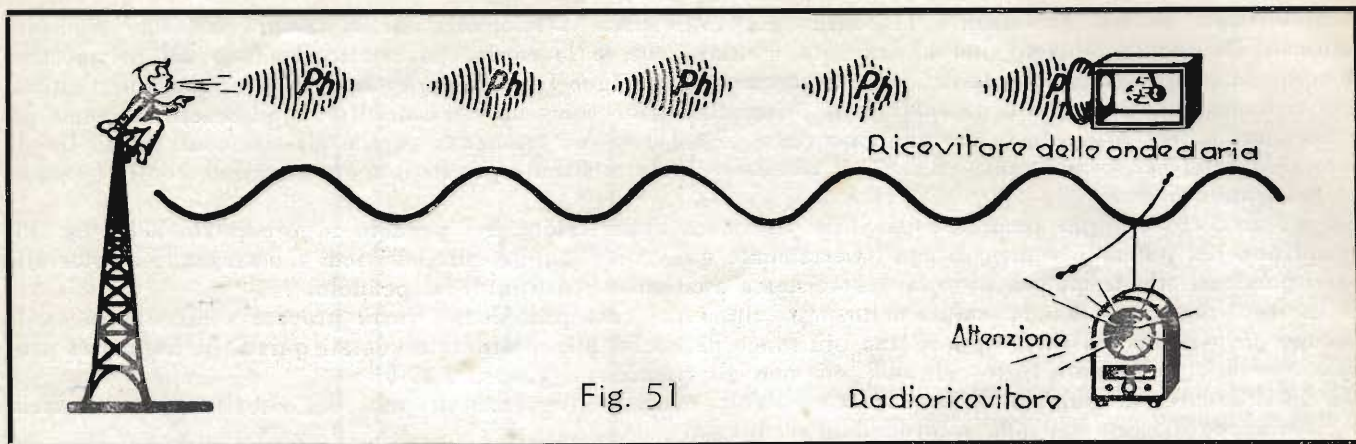
Arriviamo ora all'applicazione nel campo della radio di tutto quanto abbiamo visto circa la risonanza. Immaginiamoci un omino seduto sull'antenna di una stazione radiotrasmittente, e supponiamo che egli soffi a intervalli regolari (fig. 50); egli emetterà insomma delle onde d'aria che rappresentano per noi le onde elettriche

Fig. 50

emesse dal radiotrasmettitore. Ogni onda d'aria provocata dai soffi possiede dei punti di massima intensità intercalati da punti di minima intensità, ossia delle semionde positive separate da semionde negative, che cadono esattamente nei medesimi punti delle semionde positive e negative dell'onda radio rappresentate nella parte inferiore della figura.
Supponiamo infine di avere a disposizione un ricevitore adatto per queste onde d'aria costituito da una scatola contenente un piccolo pendolo (fig. 51). Se al ricevitore pervengono delle onde d'aria accordate col suo sistema oscillante, cioè con la frequenza propria del piccolo pendolo, quest'ultimo si metterà a oscillare. In altre parole: il nostro ricevitore per le onde d'aria « risponde ». Anche per il radioricevitore le cose sono identiche; esso « risponde » quando è « accordato » sull'onda elettrica, ossia sull'onda radio, che perviene ad esso.
Naturalmente è anche possibile il caso contrario: quando il sistema oscillante del ricevitore per le onde d'aria non è accordato con la loro frequenza, il piccolo pendolo non può mettersi a oscillare, e rimane immobile. E allo stesso modo il radioricevitore rimane silenzioso, quando non è accordato (o, come si dice anche in questo caso, « sintonizzato ») con la frequenza dell'onda elettrica che gli perviene dal trasmettitore (fig. 52).
Naturalmente, ad una certa distanza, le onde d'aria prodotte soffiando giungono debolissime, tuttavia il piccolo pendolo del ricevitore (supposto che sia accordato), può effettuare ampie oscillazioni per effetto di « fenomeni di risonanza ». Per ottenere la risonanza bastano infatti, come avete già appreso, leggerissimi impulsi, purchè essi sopravvengano con la giusta cadenza. Analogamente avviene per le onde radio. Esse pure sono assai deboli nella località della ricezione, ma, tuttavia, si possono utilizzare, perchè le oscillazioni del sistema trasmittente vengono amplificate nel ricevitore per mezzo di apparecchi, il fuzionamento dei quali è basato sui principi del fenomeno della risonanza.
Ricordatevi quindi quanto segue: per ottenere l'oscillazione del sistema oscillante di un ricevitore, sia si tratti di un comune ricevitore radio o del ricevitore per onde d'aria che abbiamo qui descritto, tanto per fissare le idee, è cosa indispensabile che il ricevitore sia accordato con la frequenza dell'onda da ricevere.

La sintonia.

Come abbiamo già accennato, nella tecnica della radio, volendo esprimere lo stato di un ricevitore accordato,

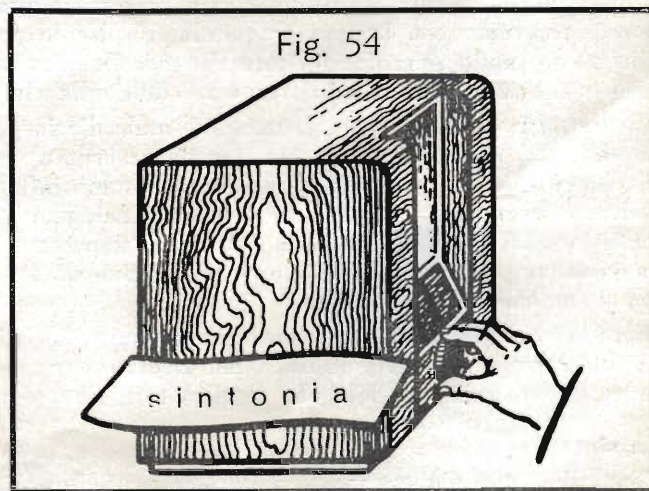
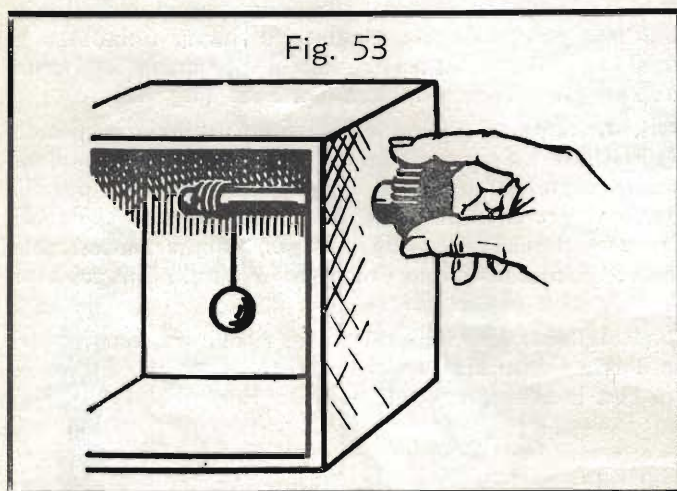
Fig. 51

Fig. 52

si parla di « *sintonia* ». È questa una parola di origine greca, che letteralmente significa « il risuonare assieme ». Si dice quindi che un ricevitore è « in sintonia » con un dato trasmettitore, quando essi sono « accordati » tra loro sopra una medesima frequenza. Come si fa ora a mettere in sintonia, ossia ad occordare un ricevitore con una data onda? Nel nostro ricevitore per le onde d'aria ciò può avvenire regolando per esempio la lunghezza del piccolo pendolo, come è mostrato nella fig. 53; girando la manopola visibile a destra, la lunghezza del pendolo può essere allungata o accorciata a piacimento.

Un pendolo lungo oscilla più lentamente e possiede quindi una frequenza propria inferiore a quella di un pendolo corto; ciò non costituisce una novità per nessuno, poichè tutti abbiamo visto i vecchi orologi col pendolo lungo che oscilla lentamente, mentre conosciamo anche le piccole pendole del cucù che battono il tempo con ritmo affrettato.

Anche in un ricevitore radio la sintonizzazione avviene girando una manopola (fig. 54). Apprenderete più avanti ciò che avviene nell'interno dell'apparecchio quando si regola la manopola della sintonia; è chiaro però fin d'ora che, agendo su di essa, si modifica il sistema oscillante elettrico del ricevitore, in modo da accordarlo con l'onda che si vuole ricevere e far sì che si possano manifestare i fenomeni di risonanza necessari, perchè le oscillazioni elettriche ricevute vengono amplificate al punto da permettere la loro ricezione.

Fig. 53

Fig. 54

Domande

1. Quand'è che due sistemi oscillanti sono accordati fra loro?
2. Descrivete brevemente le principali manifestazioni dei fenomeni di risonanza.

Risposte alle domande di pag. 14

1. Per il collegamento in serie, le suonerie in derivazione e quelle a correnti inverse sono le più adatte.
2. Il compito del biossido di manganese è quello di eliminare nelle pile l'idrogeno prodotto dal passaggio della corrente attraverso l'elettrolito, impedendo che esso si depositi sull'anodo, provocando una diminuzione di tensione.
3. Le piastre dell'accumulatore al piombo, come dice il nome, sono costituite di piombo, mentre quelle dell'accumulatore al ferro-nichel hanno l'elettrodo positivo di lamiera di ferro nichelata e l'elettrodo neagtivo di ferro e cadmio. Nell'accumulatore al piombo come elettrolito si impiega acido solforico, in quello al ferro-nichel invece potassa caustica.
4. L'accumulatore al piombo eroga, in media, per ogni cella, una tensione di 2 volt; quello al ferro-nichel, 1,2 volt.
5. La polarità delle piastre dell'accumulatore al piombo si riconosce dal loro colore. Le piastre positive sono brune (biossido di piombo), quelle negative invece biancastre-grigiastre (piombo spugnoso).

MATEMATICA

12. Le parentesi

Nel calcolo delle espressioni aritmetiche, talvolta è necessario indicare che certe operazioni di addizione o sottrazione devono essere eseguite secondo una certa successione. Per indicare, quali operazioni vanno eseguite per prime rispetto alle altre, ci si serve delle « parentesi » dove si racchiudono i numeri che devono essere sommati o sottratti fra di loro, prima di eseguire le altre operazioni. Si debba per esempio calcolare la seguente espressione: $17 - (15 + 11 - 19) = ?$

In questo caso la parentesi indica che, come prima cosa, deve essere eseguita l'operazione in essa compresa e che il suo risultato deve essere poi sottratto da 17. Nella parentesi abbiamo $15 + 11 - 19$, ed eseguendo il calcolo si ottiene $15 + 11 - 19 = 26 - 19 = 7$. Il risultato dell'operazione indicata nella parentesi è quindi 7 e dobbiamo ora sottrarlo da 17: $17 - 7 = \mathit{10}$. Il risultato finale è dunque 10. Se la parentesi non fosse esistita ad indicare l'ordine nel quale dovevano essere effettuate le operazioni, il risultato sarebbe stato ben diverso e quindi errato. L'impiego delle parentesi è stato quindi molto importante in questo caso.

Esempi:

1) $34 + 5 - (28 + 16) = ?$
   $34 + 5 - 44 = -\mathit{5}$

2) $44 + (25 - 13 - 4 + 8) = ?$
   $44 + 16 = \mathit{60}$

Talvolta vi sono espressioni, dove non basta indicare solamente, quale sia la prima operazione da eseguire, ma occorre anche precisare quali siano, in ordine progressivo, le successive. In questi casi si usano parentesi di forme diverse; le parentesi che già abbiamo usate si chiamano *parentesi tonde* ( ), esistono poi le *parentesi quadre* [ ] ed infine quelle a *graffe* { } che però si usano solo raramente. Nell'ordine, vanno eseguite per prime le operazioni comprese nelle parentesi tonde, successivamente quelle nelle parentesi quadrate, indi quelle nelle parentesi a graffe.

3) $84 - [10 + (9 - 6)] = ?$

Le parentesi indicano che bisogna prima eseguire le operazioni contenute nella parentesi tonda indi quelle contenute nella parentesi quadra e sottrarre poi il risultato ottenuto da 84. Calcoliamo quindi dapprima il contenuto della parentesi tonda: $9 - 6 = 3$, invece di $(9 - 6)$ possiamo quindi scrivere 3 e l'espressione diventa allora: $84 - [10 + 3] = ?$. Calcoliamo ora il contenuto della parentesi quadra: $10 + 3 = 13$, sostituiamo quindi $[10 + 3]$ con 13 e otteniamo $84 - 13 = \mathit{71}$ che è il risultato cercato.

Esercitatevi ora attentamente sull'uso delle parentesi seguendo gli esempi sotto indicati:

4) $52 - [12 - (17 - 8)] = ?$
   Risolta la parentesi tonda abbiamo: $52 - [12 - 9] = ?$; risolta quella quadra: $52 - 3 = \mathit{49}$.

5) $25 - \{8 + [19 - (3 + 4)]\} = ?$; risolta la parentesi tonda: $25 - \{8 + [19 - 7]\} = ?$
   Risolta la parentesi quadra: $25 - \{8 + 12\} = ?$; risolta la parentesi a graffe: $25 - 20 = \mathit{5}$.

L'eliminazione delle parentesi.

Come abbiamo visto, per risolvere un'espressione che comprenda calcoli racchiusi in parentesi, questi devono essere eseguiti per primi rispetto ai rimanenti. Dovendo quindi risolvere l'espressione $6 + (4 - 2)$ si comincia dapprima ad effettuare l'operazione compresa nella parentesi tonda; $4 - 2 = 2$, ottenendo il risultato finale $6 + 2 = \mathit{8}$. Talvolta, però in pratica, si presenta anche la necessità di effettuare le operazioni fra numeri racchiusi in parentesi, solo dopo che questa sia stata eliminata, cioè non tenendo conto della esistenza della parentesi stessa. Per ben comprendere come ciò sia possibile, dobbiamo innanzi tutto renderci conto di quale sia la influenza che la parentesi esercita sui numeri che essa comprende: Nell'esempio citato innanzi: $6 + (4 - 2) = \mathit{8}$, vediamo che la parentesi è preceduta dal segno $+$; se noi eliminiamo la parentesi e scriviamo i numeri

compresi nell'espressione nello stesso ordine che avevano quando la parentesi esisteva, constatiamo che il risultato finale non cambia; infatti $6 + 4 — 2 = 8$.

Esempio: $5 + 3 + (7 — 3) = 5 + 3 + 4 = 12$.

Anche se eliminiamo la parentesi e scriviamo tutti i numeri della espressione nello stesso ordine che avevano quando la parentesi esisteva, il risultato rimane identico:

$$5 + 3 + (7 — 3) = 5 + 3 + 7 — 3 = 12.$$

Dagli esercizi che abbiamo risolti, rileviamo quindi che, quando una parentesi è preceduta dal segno « + », è indifferente tenere o non tenere conto della parentesi stessa. In proposito è utile ricordare la seguente regola:

Regola 7: « *Quando una parentesi è preceduta dal segno « + » essa può venire eliminata scrivendo i numeri in essa compresi con lo stesso ordine e gli stessi segni* ».

Le cose invece sono diverse, quando si tratta di una parentesi preceduta dal segno « — ». Nella seguente espressione: $8 — (5 — 2)$ la parentesi tonda indica che deve essere prima eseguito il calcolo dei numeri in essa compresi e che successivamente il risultato ottenuto deve essere sottratto da 8; quindi, poichè $5 — 2 = 3$ otteniamo $8 — 3 = 5$.

Se noi invece eliminassimo senz'altro la parentesi, mantenendo i numeri in essa compresi nello stesso ordine e con lo stesso segno, otterremmo $8 — 5 — 2 = 1$, risultato diverso da quello ottenuto precedentemente e quindi errato. Constatiamo quindi che, quando una parentesi è preceduta dal segno « — », essa non può essere eliminata. Se è però necessario per una ragione qualsiasi eliminare la parentesi senza per questo falsare li risultato del calcolo, esiste il mezzo per poterlo fare. Bisogna allora togliere la parentesi, ma invertire anche tutti i segni che in essa sono compresi e quindi mutare i « + », in « — » e i « — » in « + ». Operiamo in questo modo nella nostra espressione $8 — (5 — 2)$, tralasciando la parentesi e invertendo i segni in essa compresi. Avremo allora $8 — (5 — 2) = 8 — 5 + 2 = 5$, risultato esatto ed uguale a quello ottenuto effettuando il calcolo tenendo conto della parentesi.

Esempio: $16 + 2 — (8 + 3) =$?; per eliminare la parentesi bisogna invertire i segni in essa compresi e avremo quindi: $16 + 2 — 8 — 3 = 7$.

Abbiamo così trovato la regola per la eliminazione delle parentesi precedute dal segno « — ».

Regola 8: « *Quando una parentesi è preceduta dal segno « — », essa può venire eliminata scrivendo i numeri in essa compresi nello stesso ordine, ma variando invece tutti i segni e quindi mutando i segni « + » in segni « — » e viceversa* ».

È da ricordare che il primo numero che si trova nella parentesi senza alcun segno, assume il segno « — » che precede la parentesi.

Esempi per l'eliminazione di parentesi.

1) $19 — (8 + 8) =$? Trovandosi un « — » davanti alla parentesi, il « + » entro la parentesi va mutato in un « — »; $19 — 8 — 8 = 3$.

2) $15 — 3 + 4 — (6 + 12 — 10 — 3) =$? Tutti i segni entro la parentesi vanno invertiti: $15 — 3 + 4 — 6 — 12 + 10 + 3 = 11$.

3) $9x — (8 + 8x) =$?

Questo problema è il primo che ci dimostra un caso ove la eliminazione della parentesi preceduta dal segno — è indispensabile. È infatti impossibile effettuare il calcolo completo dell'espressione, sino a che una parte dei termini che vi appaiono, sono racchiusi in parentesi. La parentesi deve quindi essere eliminata e in proposito seguiremo il procedimento indicato dalla regola N. 8. Poichè davanti alla parentesi abbiamo il segno « — », dobbiamo invertire il segno contenuto nella parentesi stessa ed avremo: $9x — (8 + 8x) = 9x — 8 — 8x = x — 8$, risultato che non può essere ulteriormente semplificato.

Quando in una espressione esistono diversi tipi di parentesi, bisogna eliminare una parentesi alla volta, cominciando da quelle tonde che sono situate più all'interno rispetto a quelle quadrate e a quelle graffe. Ecco alcuni esercizi che vi serviranno da esempio:

4) $5 + [30 — (14 — 4)] =$?

Eliminiamo dapprima la parentesi tonda. Poichè essa è preceduta da un « — », invertiamo il segno in essa contenuto:

$5 + [30 — 14 + 4] =$?

La parentesi quadra si può tralasciare, perchè preceduta da un « + »:

$5 + 30 — 14 + 4 = 25$.

Controllate ora voi stessi se ottenete il medesimo risultato calcolando l'espressione senza eliminare le parentesi.

5) $12a — [7b — 6a + (4a — 3b)] =$? $12a — [7b — 6a + 4a — 3b] =$?

$12a — 7b + 6a — 4a + 3b = 14a — 4b$.

Domande

1. Qual'è la funzione delle parentesi nelle espressioni numeriche o letterali?
2. Ha un senso mettere la parentesi nella seguente espressione: $(3 — 7 — 5)$, oppure si può semplicemente tralasciarla?

Risposte alle domande di pag. 19

1. Due sistemi oscillanti sono accordati tra loro, quando hanno la stessa frequenza propria.
2. Si ha per esempio un fenomeno di risonanza quando la nota emessa dalla corda di uno strumento provoca la vibrazione di una corda di un altro strumento accordato alla medesima frequenza. Le onde sonore emesse dal primo strumento cadono sulla corrispondente corda del secondo strumento, eccitandola a vibrazioni dapprima debolissime. Gli impulsi ondulatori che sopravvengono successivamente sempre nel medesimo e giusto ritmo amplificano poi fortemente queste vibrazioni.

ELETTROTECNICA GENERALE

L'autoinduzione

Prima di poter spiegare i fenomeni elettrici che si presentano nell'interno di un radioricevitore, è necessario che vi siano perfettamente familiari alcuni importanti concetti. In primo luogo quello della autoinduzione. Nella Dispensa N. 5 avete già conosciuto gli effetti della « induzione mutua » fra due circuiti comprendenti ognuno una bobina ed avete visto allora che, aprendo o chiudendo o anche solo variando l'intensità della corrente che circola in un circuito primario, in un circuito secondario, ad esso adiacente e sprovvisto di tensione propria, viene indotta una tensione. Allo stesso modo viene indotta una tensione anche nello stesso circuito primario e cioè, gli stessi fenomeni che si verificano fra due bobine adiacenti, si manifestano anche in una bobina sola percorsa da corrente. In questo caso non si tratta più di « induzione mutua », della quale già abbiamo parlato, ma di « induzione propria » o meglio di « autoinduzione ». È da tenere presente che la « autoinduzione », in una bobina, viene prodotta dalla stessa corrente che in essa circola.

Trattando della induzione mutua, abbiamo spiegato tale fenomeno con il fatto che le due bobine considerate sono fra di loro « magneticamente accoppiate » e cioè che la bobina secondaria viene a trovarsi immersa nel campo magnetico prodotto dalla bobina primaria in modo da essere influenzata dalle variazioni d'intensità del campo stesso. Da ciò risulta chiaro che in una bobina il fenomeno della induzione si verifica appunto, quando la bobina stessa è immersa in un campo magnetico variabile e concatenata con esso.

Il modo più semplice per spiegarci il manifestarsi della tensione di autoinduzione in una bobina sola, è quello di pensare che la bobina stessa si trova immersa nel campo magnetico che essa stessa genera, quando è percorsa da corrente. Ci è noto infatti che ogni campo magnetico passa nell'interno della bobina che lo genera e la racchiude concatenandosi con essa. In questa situazione, se variamo l'intensità della corrente che circola nella nostra bobina sola, varia nello stesso senso anche l'intensità del suo campo magnetico; ogni variazione di intensità del campo magnetico, tanto in aumento che in diminuzione, induce una tensione nella bobina che con il campo è concatenata. Non ha nessuna importanza il fatto che la bobina considerata è la stessa che genera il campo magnetico, invece di essere un'altra bobina adiacente e con essa accoppiata magneticamente. Se la bobina in cui è indotta la tensione è la stessa che produce il campo magnetico, il fenomeno si chiama « autoinduzione »; se invece la bobina è un'altra, si parla di « induzione mutua ».

Riassumendo, possiamo quindi dire: « *In una bobina concatenata con un campo magnetico viene indotta una tensione ogni qual volta si varia l'intensità di tale campo. A questo riguardo non ha nessuna importanza il mezzo con il quale il campo è generato. Se la tensione si manifesta nella stessa bobina che ha generato il campo magnetico, il fenomeno si chiama « autoinduzione ». Se la tensione invece si manifesta in una bobina concatenata con il campo, ma diversa da quella che lo ha generato, il fenomeno si chiama « induzione mutua o estranea* ».

A conclusione di queste considerazioni vogliamo ripetervi chiaramente che *la corrente dovuta alla autoinduzione è sempre diretta in modo da contrastare le variazioni di corrente imposte dall'esterno alla bobina stessa.* Se si provoca un aumento di corrente, l'autoinduzione tende a farla diminuire, se si provoca una diminuzione di corrente, l'autoinduzione tende a farla aumentare. Quando si chiude un circuito, per autoinduzione, si forma una tensione *opposta* alla corrente inserita e che tende ad *indebolire* quest'ultima, che quindi non può raggiungere immediatamente il suo valore completo, ma solo gradualmente, sia pure in un tempo molto breve. Quando si apre un circuito, cioè si provoca una diminuzione di corrente sino ad annullarla, l'autoinduzione invece tende ad aumentarla e per questo la corrente non cessa immediatamente, ma circola ancora per un breve istante. La tensione generata all'apertura di un circuito è talvolta così elevata da provocare nel punto di interruzione la cosiddetta « scintilla di apertura ».

Il ritardo nell'aumento o nella diminuzione di una corrente dovuto alla autoinduzione, viene chiamato « inerzia magnetica », in quanto la sua vera origine è il campo magnetico.

Non vi stupisca il fatto che abbiamo ora parlato di corrente e ora di tensione. Infatti la corrente può scorrere soltanto se viene spinta da una « pressione » elettrica, cioè da una « tensione ». La presenza di una corrente presuppone quindi sempre l'esistenza di una tensione.

A questo punto dobbiamo ricordare che i fenomeni di autoinduzione non si verificano solo nei circuiti alimentati da corrente continua, ma anche e in maggiore misura in quelli alimentati da corrente alternata. Come è noto la corrente alternata, per la sua stessa natura, varia continuamente di direzione e di intensità, di modo che le variazioni del campo ed il conseguente fenomeno della autoinduzione si verificano anche senza interventi esterni, ma per il solo fatto che in una bobina circoli corrente alternata.

L'induttanza.

Il valore della autoinduzione in una bobina, cioè la sua « induttanza » dipende da vari fattori come vedremo subito. Anzitutto l'induttanza dipende dalle dimensioni della bobina e quindi dal suo diametro, dalla sua lunghezza nonchè dal numero delle spire che la compongono; anche la forma della bobina ha una certa influenza. Se la bobina a solenoide è avvolta su di un nucleo di ferro, per le ragioni che già conosciamo, il suo campo magnetico ne risulta rinforzato e quindi, in essa, a parità di variazione di corrente, le variazioni del campo sono molto maggiori di quelle che avvengono in una bobina di uguali dimensioni ma sprovvista di nucleo di ferro.

L'unità di misura dell'induttanza.

L'induttanza viene misurata in henry (sigla: « H »). 1 henry è un valore relativamente elevato, per cui in pratica, per poter esprimere comodamente anche valori d'induttanza piuttosto piccoli, si usa generalmente l'unità millihenry (sigla: « mH »). 1 millihenry è la millesima parte di un henry. Un milionesimo di henry si chiama microhenry (sigla: « μH »), μ è la lettera greca « mi », che corrisponde alla nostra « emme ». Un miliardesimo di henry si chiama nanohenry (sigla: « nH »). L'unità dell'induttanza, l'henry, appartiene al sistema di misura elettrotecnico pratico. Ora esiste pure un altro sistema di misura, il cosiddetto sistema assoluto elettromagnetico, nel quale l'induttanza si misura in centimetri (sigla: « cm »). Tra le due unità vale la seguente relazione:

$$1 \text{ henry} = 1\,000\,000\,000 \text{ centimetri} = 10^9 \text{ centimetri,}$$

ossia

$$1 \text{ H} = 10^9 \text{ cm}$$

L'unità assoluta « cm » si usa principalmente in fisica e anche qualche volta in radiotecnica. Attualmente si cerca però di usare in radio tecnica solo l'unità henry e i suoi sottomultipli « mH » e « μH ».

Il fatto che l'induttanza si misuri nel sistema assoluto elettromagnetico con l'unità di *lunghezza*, il « cm », dipende dalle premesse e dalla costruzione di questo sistema di misura, in merito alle quali non è il caso di entrare in questa sede.

Come sapete dal capitolo sull'elevazione a potenza, l'espressione 19^9 significa che la base 10 deve essere moltiplicata nove volte per se stessa. In questo caso non occorrono però lunghi conti; basta ricordare che per elevare a potenza la base 10 bisogna aggiungere dietro all'1 tanti zeri quanti sono indicati dall'esponente. L'espressione 10^9 vale quindi 1 000 000 000.

Valgono pertanto le seguenti relazioni:

$$1 \text{ millihenry (mH)} = \frac{1}{1\,000} \text{ henry (H)} = \frac{1}{1\,000} \cdot 10^9 \text{ cm} = \frac{1}{1\,000} \cdot 1\,000\,000\,000 \text{ cm} = 1\,000\,000 \text{ cm} = 10^6 \text{ cm}$$

Inoltre:

$$1 \text{ microhenry } (\mu\text{H}) = \frac{1}{1\,000\,000} \text{ H} = \frac{1}{1\,000\,000} \cdot 1\,000\,000\,000 \text{ cm} = 1\,000 \text{ cm} = 10^3 \text{ cm}$$

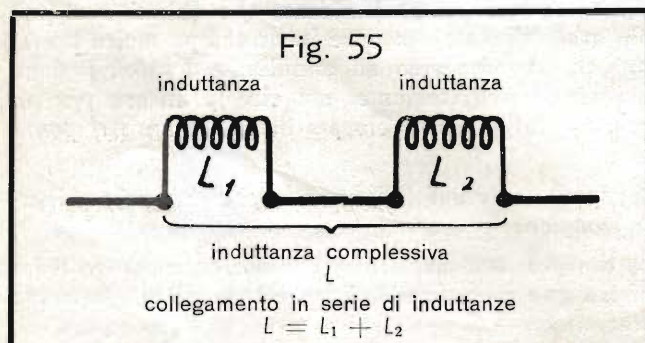
E infine:

$$1 \text{ nanohenry (nH)} = \frac{1}{1\,000\,000\,000} \text{ H} = \frac{1}{1\,000\,000\,000} \cdot 1\,000\,000\,000 \text{ cm} = 1 \text{ cm}$$

Come vedete data l'uguaglianza *1 nH = 1 cm*, l'unità « cm » può venire senz'altro sostituita, nel sistema elettrotecnico pratico, con l'unità « nH ». E infine potete ricordare la relazione inversa: $1 \text{ cm} = 10^{-9}$ H.

Osservazione: Se l'esponente di una potenza è dotato del segno « — », il suo valore equivale ad una frazione in cui il denominatore è uguale alla potenza con l'esponente positivo, e il numeratore è 1. Quindi invece di $1 \text{ cm} = 10^{-9}$ H si può anche scrivere:

$$\frac{1}{1\,000\,000\,000} \text{ H}$$

Collegamento in serie di induttanze.

Collegando in serie due bobine d'induttanza, come indicato nella fig. 55, le loro induttanze si sommano. Per contraddistinguere una induttanza si usa la lettera « L », allo stesso modo come si designa la tensione con V, la corrente con I e la resistenza con R. Il valore complessivo di due induttanze $L_1 + L_2$, collegate in serie è quindi, come risulta dalla fig. 57, $L = L_1 + L_2$.

Questa formula è formalmente la medesima di quella per calcolare il valore complessivo di due resistenze collegate in serie: $R = R_1 + R_2$, ed è quindi facile da ricordare. D'altronde imparerete prossimamente che, per le correnti alternate, le induttanze non sono altro che resistenze.

Quando le induttanze collegate in serie sono parecchie, la relazione sopra menzionata assume la forma seguente:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots \qquad \text{(Formula 14)}$$

Il valore complessivo di più induttanze collegate in serie equivale alla somma delle induttanze singole.

Collegamento in parallelo di induttanze.

Quando invece due induttanze vengono collegate in parallelo, come rappresentato nella fig. 58, l'induttanza complessiva risulta dalla relazione:

$$\frac{1}{L}=\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}$$

Collegamento in parallelo delle induttanze

Anche questa formula corrisponde a quella analoga per le resistenze. L'equazione viene risolta riducendo dapprima le frazioni del secondo membro al denominatore comune, che è $L_1 . L_2$.

$$\frac{1}{L}=\frac{L_2}{L_1 . L_2}+\frac{L_1}{L_1 . L_2}=\frac{L_1+L_2}{L_1 . L_2}$$

Per ottenere L, si capovolgono entrambi i membri dell'equazione, ottenendo il *valore reciproco*:

$$L=\frac{L_1 . L_2}{L_1+L_2}$$

Questa equazione vale però soltanto per *due induttanze* collegate in parallelo, e non è quindi molto importante ricordarsela.

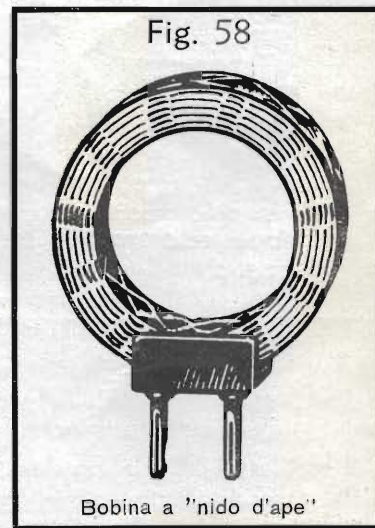
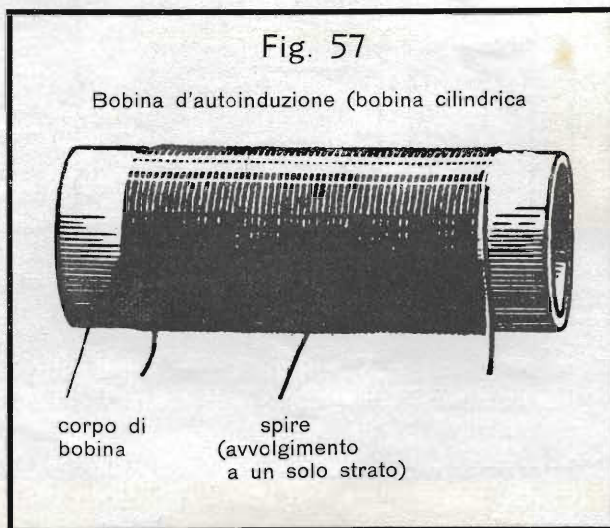
Nel collegamento in parallelo di parecchie induttanze, vale la formula:

$$\frac{1}{L}=\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}+\frac{1}{L_3}+\ldots \qquad \text{(Formula 15)}$$

Nel collegamento in parallelo di più riluttanze, il reciproco del valore complessivo equivale alla somma dei valori reciproci delle singole induttanze.

La costruzione delle bobine d'autoinduzione.

Bobina a "nido d'ape"

Le bobine d'autoinduzione (o d'induttanza) hanno numerose applicazioni non soltanto in radiotecnica, ma in tutta la tecnica delle telecomunicazioni. La forma usata più frequentemente, la cosiddetta bobina cilindrica o solenoide, è rappresentata nella fig. 57. Le spire sono avvolte in uno o più strati su un corpo di bobina di materiale isolante. (Notiamo a questo proposito che le bobine d'induzione montate negli apparecchi radioriceventi, che si chiamano brevemente « bobine », sono generalmente avvolte a un solo strato). In passato si usavano frequentemente in radiotecnica le cosiddette « *bobine a nido d'ape* », come quella visibile nella fig. 58; oggi si preferiscono invece bobine minuscole, che contengono perfino un nucleo di ferro. Di questo però parleremo in seguito.

La reattanza induttiva.

Le bobine d'autoinduzione si comportano in modo assai differente a seconda che in esse circoli corrente continua o alternata. Nel primo caso si osserva che, applicando alla bobina una determinata tensione continua, passa una corrente molto più elevata. Se invece si applica alla medesima bobina una tensione alternata, benchè la tensione abbia lo stesso valore di prima, la corrente diventa piccolissima.

Poichè conosciamo ormai bene la legge di Ohm, possiamo fare il seguente ragionamento:

> Quando la bobina viene alimentata con tensione continua e quindi percorsa da corrente continua, l'intensità di corrente è elevata, e quindi la resistenza della bobina è piccola.
> Se invece applicando una tensione alternata del medesimo valore la corrente alternata diventa assai più piccola, ciò significa che la resistenza della bobina per la corrente alternata è molto più grande che non per la corrente continua.

Questo ragionamento è perfettamente giustificato e possiamo quindi ricordare la seguente proprietà:

Una bobina d'induttanza offre una piccola resistenza alla corrente continua ed una resistenza elevata alla corrente alternata.

Questa proprietà viene sfruttata molto spesso nella tecnica delle telecomunicazioni e particolarmente nella radiotecnica; e vogliamo quindi occuparcene un po' più dettagliatamente.

Le bobine d'autoinduzione oppongono alla *corrente continua* la sola resistenza che è determinata dalla qualità e dalle dimensioni del filo impiegato: si tratta della cosiddetta « *resistenza ohmica* ». Usando del filo di rame, questa resistenza è talmente piccola, da poter essere quasi trascurata, a meno che non venga usato del filo assai sottile e avvolto con numerosissime spire. Le cose cambiano quando si tratta di *corrente alternata*. Allora, oltre alla normale resistenza del conduttore (cioè la resistenza ohmica che, per la corrente alternata, si chiama anche « resistenza attiva »), si ha una cosiddetta « resistenza reattiva » o « reattanza »; trattandosi poi di una bobina d'induzione, essa si dice « *reattanza induttiva* ». Questa resistenza supplementare è dovuta al fatto che, la corrente alternata, attraversando la bobina, crea un campo magnetico di intensità e direzione continuamente varianti. Come avete già appreso, ogni variazione del campo magnetico produce nella bobina una tensione autoindotta, tale da ostacolare la variazione della corrente magnetizzante e del campo stesso. Naturalmente la tensione indotta non riesce a impedire completamente il passaggio della corrente, dato che questa è prodotta da una tensione esterna applicata ai morsetti della bobina. Questa tensione impressa ai morsetti è una tensione alternata, e cambia di grandezza e direzione con la stessa frequenza della corrente da essa generata. La tensione ai morsetti viene consumata per superare le varie resistenze che ostacolano il passaggio della corrente. Tra queste agisce dapprima, come abbiamo visto, la resistenza ohmica o attiva, per superare la quale viene consumata solo una parte della tensione ai morsetti, di conseguenza si ha una « caduta di tensione ohmica » o « attiva ».

A ciò si aggiunge l'effetto contrastante e ritardante della tensione autoindotta, per superare la quale viene impiegata la rimanente parte della tensione applicata ai morsetti. Il fenomeno della autoinduzione agisce quindi sulla corrente alternata come una vera resistenza; si tratta di una « resistenza induttiva ». Il termine « reattanza », con il quale essa viene generalmente indicata per evitare confusioni, vuol significare che si tratta di una resistenza di origine del tutto diversa dalla comune resistenza ohmica. La parte di tensione consumata a causa della reattanza provoca una « caduta di tensione reattiva ».

La tensione autoindotta e il suo effetto resistente sono tanto più grandi, quanto più rapida è la variazione del campo magnetico, e quindi quanto più elevata è la frequenza della corrente alternata. La reattanza induttiva cresce quindi con l'aumentare della frequenza.

Per facilitarvi la comprensione del fenomeno, vogliamo servirci di un paragone. Immaginatevi la grossa mola di un arrotino. Supponete di far girare la mola sempre nella stessa direzione; abbiamo in questo caso un movimento che assomiglia in un certo senso ad una corrente continua, e il lavoro effettuato dall'uomo alla manovella non è faticoso (fig. 59). Se invece si vuole continuamente invertire il senso di rotazione della mola l'uomo che aziona la manovella dovrà faticare assai, dovendo superare una resistenza molto forte (fig. 60). La resistenza è tanto maggiore, quanto più sovente viene invertito il senso di rotazione.

Ripetete ora bene questo capitolo. Prima di procedere, è necessario che conosciate bene il comportamento delle bobine d'induttanza con la corrente continua e con quella alternata.

Risposte alle domande di pag. 20

1. I vari tipi di parentesi indicano l'ordine di successione col quale in una espressione vanno eseguite le singole operazioni.

2. Sì, la parentesi significa che si deve calcolare dapprima $7 - 5 = 2$, e che il numero risultante va quindi sottratto dal numero 3; quindi: $3 - (7 - 5) = 3 - 2 = 1$.

COMPITI

1. Che cosa si intende per « onda di trasmissione modulata »?

2. Che accade quando una corrente alternata viene addotta ad un detector?

3. a) $5 \frac{1}{2} . 2 = ?$ b) $6 \frac{a . c}{2 d} . 4d = ?$

4. a) $\frac{a}{b} : \frac{b}{c} = ?$ b) $\frac{5}{6} : 3 = ?$ c) $20 : \frac{4}{5} = ?$

5. a) $\sqrt{81} = ?$ b) $\sqrt{64} = ?$ c) $\sqrt{560} = ?$

6. Disegnate il simbolo di una suoneria e corrente alternata.

7. Qual'è la tensione erogata da una cella d'accumulatore al piombo?

8. Quali sono le condizioni indispensabili per ottenere la risonanza tra due sistemi oscillanti?

9. Che cosa significa « sintonia »?

10. Sono collegate in serie tre induttanze $L_1 = 150\,\mu H$; $L_2 = 100\,\mu H$ e $L_3 = 120\,\mu H$. Qual'è l'induttanza complessiva?

11. Due bobine d'autoinduzione con le induttanze rispettive di $L_1 = 200\,\mu H$ e $L_2 = 600\,\mu H$ sono collegate in parallelo. Qual'è il valore dell'induttanza complessiva?

12. a) $18 + [8 - (12 - 5)] = ?$ b) $11 - [12 - (6 - 5)] = ?$
    c) $4a + [6b - (a + 2b)] = ?$ d) $15y + (3x + 4y - 2x) - (y - 3x + 6y) = ?$

FORMULE CONTENUTE NELLA DISPENSA N. 6

Formula

(14) Collegamento in serie di induttanze:
Induttanza complessiva: $L = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots$ . . pag. 22

(15) Collegamento in parallelo di induttanze:
Valore reciproco dell'induttanza complessiva:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \ldots$$ . . . . » 23

DISPENSA N°. 7

CORSO DI TECNICA DELLE

TELECOMUNICAZIONI

IN PARTICOLARE DI RADIOTECNICA

ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA

INDICE DELLE MATERIE DELLA DISPENSA N. 7

Riassunto della materia trattata nella dispensa precedente . . . Pag. 1

Elettrotecnica generale . . . . „ 1
Le bobine d'impedenza . . . . „ 1
Calcolo di induttanze . . . . „ 2
Domande . . . . „ 4

Matematica . . . . „ 4
12. Le parentesi (continuazione) . . . . „ 4
La moltiplicazione di espressioni tra parentesi . . . . . „ 4
La riduzione delle espressioni tra parentesi . . . . . . „ 5
La moltiplicazione dei polinomi tra loro . . . . „ 6
Domande . . . . „ 6

Elettrotecnica generale . . . . „ 6
Il condensatore (capacità) . . . . „ 6
Carica e scarica . . . . „ 7
Il dielettrico e le armature . . . . „ 8
La bottiglia di Leida . . . . „ 8
La capacità . . . . „ 9
L'unità di misura della capacità . . . . „ 9
Forme costruttive di condensatori . . . . „ 10
Condensatori a blocco . . . . „ 10
Condensatori cilindrici . . . . „ 10
Condensatori a mica . . . . „ 11
Compensatori . . . . „ 11
Condensatori variabili . . . . „ 12
Collegamento in parallelo di condensatori . . . . . . „ 13
Collegamento in serie di condensatori . . . . „ 13
Il passaggio della corrente alternata attraverso i condensatori . „ 15
Il calcolo della capacità . . . . „ 16
Domande . . . . „ 17
Risposte . . . . „ 18

Impianti di segnalazione . . . . „ 19
Ancora qualcosa sui relè . . . . „ 19
Relè con uno o più contatti . . . . „ 19
Relè polarizzati . . . . „ 20
Relè per correnti forti . . . . „ 21
Domande . . . . „ 23

La natura dell'elettricità . . . . „ 23
Gli elettroni, i portatori dell'elettricità . . . . „ 23
Lo spostamento degli elettroni . . . . „ 24
Le molecole e gli atomi . . . . „ 24
La vera direzione della corrente . . . . „ 26
La costituzione dell'atomo . . . . „ 26
Risposte . . . . „ 27

Compiti . . . . „ 28

RIASSUNTO DELLA MATERIA TRATTATA NELLA DISPENSA PRECEDENTE

Dopo aver imparato cosa siano le onde di trasmissione, avete appreso nella Dispensa precedente in che modo le onde sonore vengano trasportate dalle onde elettriche dell'etere, e come vengano ritrasformate in suoni nell'apparecchio ricevente. Le « onde portanti » ad alta frequenza (chiamate anche « onde non modulate ») vengono « modulate » per mezzo delle onde sonore, ridotte ad oscillazioni elettriche di bassa frequenza. Si approfitta delle proprietà raddrizzanti del « detector a cristallo » per eliminare la metà negativa della corrente alternata ad alta frequenza modulata; in tal modo la membrana telefonica è in grado di « rispondere » alle variazioni di ampiezza di tale corrente e produce le corrispondenti onde sonore.

Nel capitolo sugli « Impianti di segnalazione » vi è stato mostrato che, in corrente continua, si usano, oltre alla « suoneria ad autointerruzione », anche altri tipi di suonerie. Tra questi la « suoneria in derivazione » e la « suoneria a correnti inverse », le quali hanno il vantaggio di funzionare perfettamente, anche se collegate in serie, a differenza della suoneria ad autointerruzione. È inoltre degna di menzione la « suoneria a un sol colpo ».

È stata poi descritta, piuttosto dettagliatamente, la « pila a sacchetto di biossido di manganese », la più comune tra quelle usate come sorgente di corrente nella tecnica delle telecomunicazioni. Particolarmente importanti le spiegazioni sugli accumulatori, i quali oggi hanno sostituito quasi completamente le pile. Ne avete conosciuto due tipi: l'accumulatore al piombo e quello al ferro-nichel. Il primo eroga, in media, una tensione di 2 volt, il secondo invece soltanto di 1,2 volt.

In Radiotecnica avete compiuto un altro passo, studiando i fenomeni di risonanza e il concetto della sintonia di un ricevitore con la frequenza del trasmettitore.

Per comprendere i fenomeni elettrici, che avvengono nell'interno di un apparecchio radio, occorreva sapere che cosa è l'induttanza, e conoscere quindi la formazione di una tensione autoindotta in una bobina, quando viene variata la corrente in essa fluente e quindi il campo magnetico da questa prodotto. Tale teisione autoindotta si oppone sempre alla variazione della corrente, cioè la ritarda. L'unità di misura dell'induttanza è l'« henry ».

Per calcolare con le induttanze, bisogna ricordare le formule relative al loro collegamento in serie ed al collegamento in parallelo. Infine abbiamo dato alcune spiegazioni sulla costruzione delle bobine d'induzione propria.

Per ampliare le vostre cognizioni matematiche vi è stata spiegata l'addizione e la sottrazione delle frazioni. In un altro capitolo abbiamo chiarito lo scopo delle parentesi e il modo di usarle; sono state inoltre spiegate le regole che presiedono all'eliminazione delle parentesi stesse.

ELETTROTECNICA GENERALE

Nell'ultimo capitolo della Dispensa N. 6 avete appreso varie nozioni sulla « reattanza induttiva ». Ricordate il paragone con la mola da arrotino; l'uomo che la deve far girare rapidamente, ora in un senso, ora nell'altro, si affatica tanto maggiormente, quanto più frequentemente inverte il senso di rotazione della mola.

La bobina d'impedenza

Un comportamento analogo è quello delle bobine d'induzione inserite in un circuito di corrente alternata. La resistenza, o meglio la reattanza induttiva, è tanto maggiore, quanto più alta è la frequenza della corrente alternata. E quanto più grande è la reattanza, tanto più piccola è la corrente.

È perciò possibile indebolire le correnti alternate per mezzo di bobine d'induzione, o addirittura impedirne il passaggio. Le bobine che servono esclusivamente a questo scopo si chiamano *bobine d'impedenza* o semplicemente *impedenze.* Una siffatta bobina può essere dimensionata in modo da non lasciar passare, in pratica, correnti di frequenza superiore ad un dato valore. *La corrente continua incontra invece nella bobina d'impedenza soltanto una resistenza piccolissima; essa può quindi passare senza indebolirsi.*

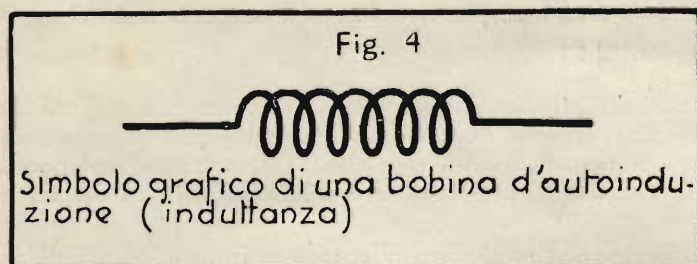
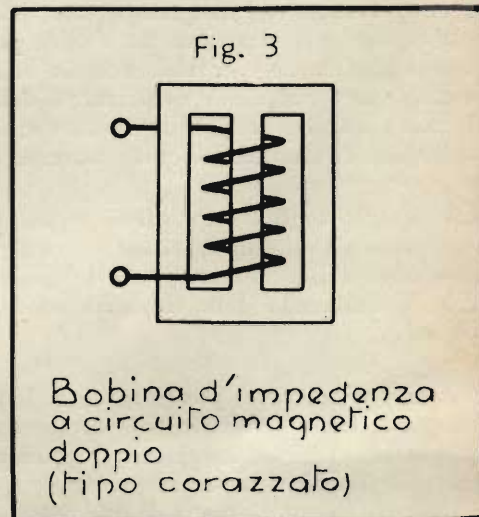
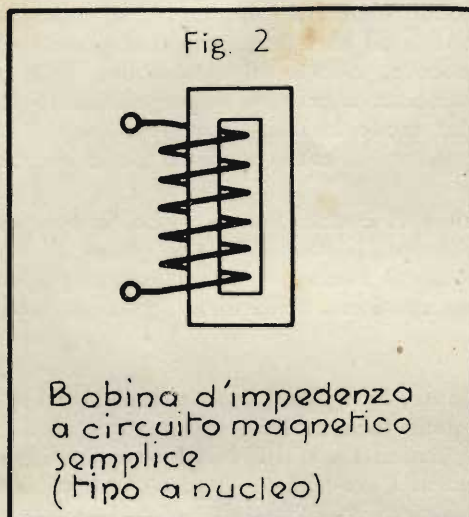
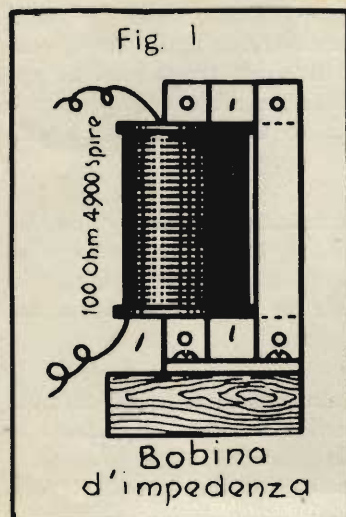
Abbiamo trovato quindi una specie di « valvola », che lascia passare la corrente continua e trattiene invece quella alternata. Questa proprietà delle bobine d'impedenza viene continuamente sfruttata; giova quindi ricordarne bene il funzionamento.

La fig. 1 mostra un'impedenza di tipo piuttosto antiquato. La bobina, avvolta in più strati di filo di rame isolato, è infilata *su di un nucleo chiuso*, costituito, per determinate ragioni, da singoli lamierini, isolati fra di loro da sottili fogli di carta, così come si usa fare anche per i trasformatori.

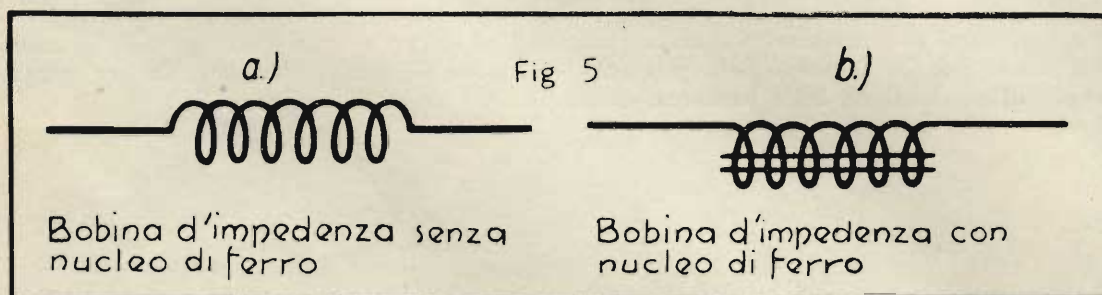
Bobina d'impedenza

Bobina d'impedenza a circuito magnetico semplice (tipo a nucleo)

Bobina d'impedenza a circuito magnetico doppio (tipo corazzato)

Simbolo grafico di una bobina d'autoinduzione (induttanza)

Esistono inoltre impedenze nelle quali il nucleo circonda la bobina da due lati; questo tipo si dice « a mantello » o « corazzato ».

Nelle figg. 2 e 3 sono rappresentati schematicamente i due tipi di bobina d'impedenza: rispettivamente chiuso da un lato e da due.

La fig. 4 rappresenta il simbolo di una bobina d'autoinduzione, mentre la fig. 5-*b* è il corrispondente segno per una bobina d'impedenza con nucleo di ferro. Diciamo però fin d'ora che, per determinati scopi, si usano pure bobine d'impedenza *senza nucleo di ferro*, il cui simbolo è rappresentato ugualmente dalla fig. 4.

a.) Bobina d'impedenza senza nucleo di ferro — b.) Bobina d'impedenza con nucleo di ferro

Le bobine d'induzione propria si usano nella tecnica dell'alta frequenza, ma non soltanto come impedenze. *Un loro principale compito*, sia nei trasmettitori che nei ricevitori, *consiste nel far parte di circuiti oscillanti elettrici.* Un circuito oscillante (ne parleremo estesamente in seguito) è costituito da una bobina e da un cosiddetto *condensatore.* Quest'ultimo è un'importante elemento di circuito, che conoscerete tra breve.

Calcolo di induttanze

L'induttanza di una bobina senza nucleo di ferro si può calcolare, in molti casi, facilmente e con precisione.

Ciò vale in particolare per la forma più usata di bobina, il solenoide o bobina cilindrica a un solo strato, semprechè sia privo di ferro.

Nella fig. 6 è rappresentato un solenoide. La sua induttanza L, misurata in henry, è

$$L = \frac{k \cdot \pi^2 \; w^2 \; D^2}{l} \cdot 10^{-9} \; H$$

Se si tralascia il fattore 10^{-9}, ottiene L in cm. In questa equazione D indica il diametro del solenoide espresso in cm; l la lunghezza della bobina (la sola parte avvolta) in cm, w il numero di spire complessivo e k il cosiddetto « fattore di forma » della bobina, che considera l'effetto della forma del solenoide sulla sua induttanza.

Il valore del fattore di forma varia con le dimensioni della bobina, e dipende dal rapporto $\frac{l}{D}$, cioè dal rapporto della lunghezza al diametro della bobina. Questa relazione è rappresentata dal diagramma della fig. 7. Sull'asse orizzontale sono riportati i valori del rapporto $\frac{l}{D}$, sull'asse verticale i valori del fattore di forma k.

Grafico per la determinazione del fattore di forma di una bobina

Se, per esempio, la parte avvolta della bobina è lunga 8 cm ed il diametro equivale a 5 cm, si ha:

$$\frac{l}{D} = \frac{8}{5} = 1{,}6$$

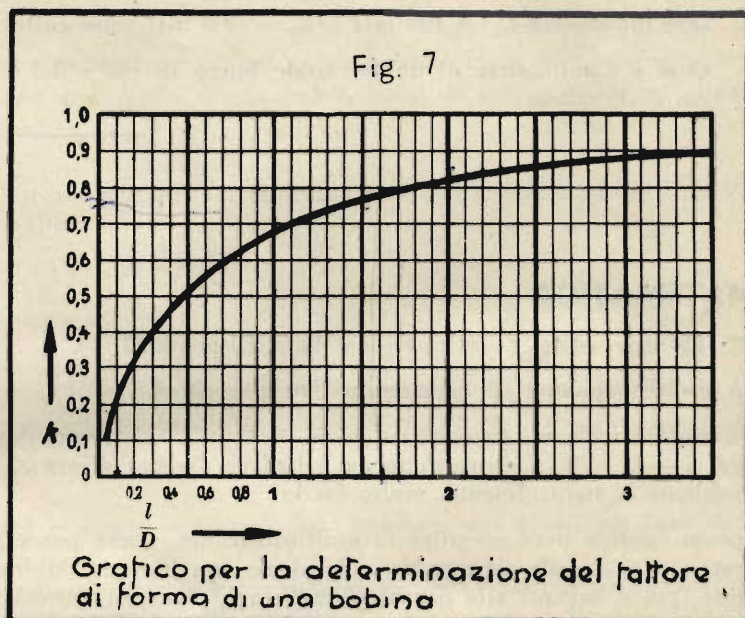
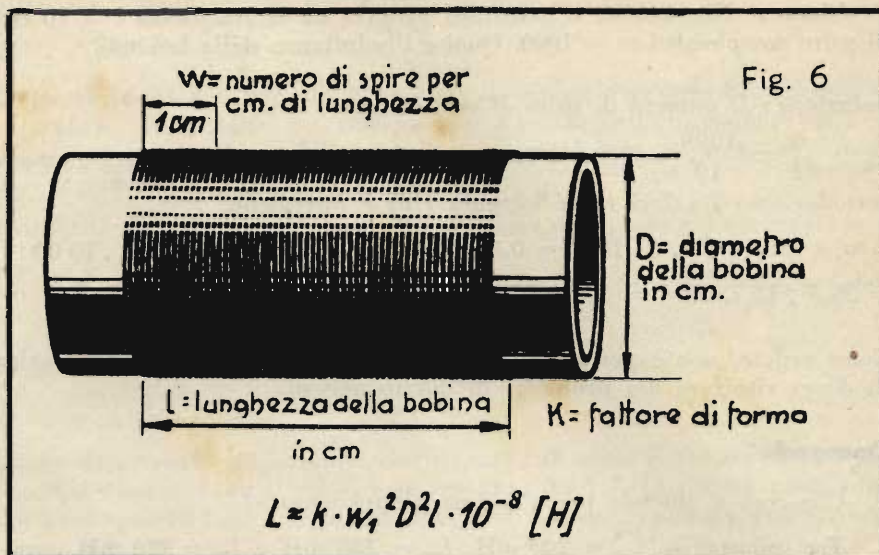
Sul diagramma (fig. 7) si cerca allora il valore $\frac{l}{D} = 1{,}6$ sull'asse orizzontale e si risale da quel punto verticalmente fino ad incontrare la curva; di qui si procede orizzontalmente verso sinistra fino all'asse verticale, sul quale si legge il valore del fattore di forma cercato: nell'esempio, *0,78*.

Nell'equazione testè indicata per l'induttanza di un solenoide privo di ferro, ad un solo strato di spire è da notare la forte dipendenza dell'induttanza dal numero di spire w e dal diametro D. Infatti queste due grandezze si trovano, nell'espressione, elevate al quadrato. Raddoppiando, p.es., il numero delle spire, si ottiene un'induttanza quadrupla, perchè $2^2 = 4$. Lo stesso vale per il raddoppiamento del diametro. Se si raddoppiano, nel medesimo tempo, il numero di spire ed il diametro, l'induttanza aumenta di 16 volte, poichè $2^2 \cdot 2^2 = 4 \cdot 4 = 16$.

D'altra parte basta moltiplicare il numero di spire per $\sqrt{2} = 1{,}414$ per ottenere il valore doppio dell'induttanza.

Per il calcolo pratico è conveniente modificare un poco l'equazione per L. Il numero π equivale, come è noto, a circa 3,14. Il quadrato di questo valore, e cioè $\pi^2 = 3{,}14^2 = 9{,}86$ può essere assunto, con approssimazione sufficiente per i nostri calcoli, come uguale a 10. Inoltre si pone $w_1 = \frac{w}{l}$, uguale al numero di spire del solenoide per centimetro di lunghezza. Moltiplicando entrambi i termini della frazione per l, e ponendo $\pi^2 \approx 10$ e quindi $10 \cdot 10^{-9} = \frac{10}{10^9} = \frac{1}{10^8} = 10^{-8}$, si ottiene:

$$L \approx \frac{k \cdot 10 \cdot w^2 \cdot D^2 \cdot l}{l \cdot l} \cdot 10^{-9} = k \cdot \frac{w^2}{l^2} \cdot D^2 \cdot l \cdot 10^{-8} = k \left(\frac{w}{l}\right)^2 \cdot D^2 \cdot l \cdot 10^{-8} = k \cdot w_1{}^2 \cdot D^2 \cdot l \cdot 10^{-8}$$

$$\boxed{L \approx k \cdot w_1{}^2 \cdot D^2 \cdot l \cdot 10^{-8} \; henry \; (H)} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad \text{Formula (16)}$$

Problema: Una bobina d'induzione propria ha la lunghezza $l = 10$ cm, il diametro $D = 5$ cm, e un numero di spire complessivo $w = 1000$. Qual è l'induttanza della bobina?

Soluzione: Il numero di spire al centimetro è:

$w_1 = \frac{w}{l} = \frac{1000}{10} = 100$. Il fattore di forma si ottiene dal diagramma (fig. 7) per $\frac{l}{D} = 2$, ed è $k = 0,82$.

Introduciamo i valori nella formula (16) e otteniamo:

$$L \approx k \cdot w_1^2 \cdot D^2 \cdot l \cdot 10^{-8} = 0,82 \cdot 100^2 \cdot 5^2 \cdot 10 \cdot 10^{-8} = 0,82 \cdot 10\,000 \cdot 25 \cdot 10 \cdot 10^{-8} = 20,5 \cdot 100\,000 \cdot 10^{-8}$$

$$= 20,5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-8} = 20,5 \cdot 10^{-3} = \frac{20,5}{1000} = 0,0205 \text{ H} = 20,5 \; mH.$$

Come vedete, non è per niente difficile calcolare l'induttanza di un solenoide. Vi capiterà sovente, in pratica, di dover risolvere dei problemi di questo genere.

Domande

1. Che cosa si intende per « bobina d'impedenza »?
2. Tre induttanze, $L_1 = 200$ mH, $L_2 = 150$ mH e $L_3 = 220$ mH, sono collegate in serie. Qual è l'induttanza complessiva?
3. Due induttanze $L_1 = 100$ mH e $L_2 = 400$ mH sono collegate in parallelo. Qual è l'induttanza complessiva?
4. Qual è l'induttanza di un solenoide lungo 18 cm e del diametro di 10 cm, che possiede 120 spire per ogni cm di lunghezza?

MATEMATICA

12. Le parentesi (continuazione dalla Dispensa N. 6).

La moltiplicazione di espressioni fra parentesi.

Dovendo calcolare l'espressione 3 . (5 — 1) = ?, riuniamo dapprima i numeri che si trovano entro la parentesi, cioè 5 — 1 = 4. L'espressione da calcolare diventa allora: 3 . 4 = ?. Il risultato è 12. La soluzione di questo problema è, naturalmente, molto facile.

Spesso occorre però eseguire la moltiplicazione, senza poter prima riunire fra loro i termini situati entro parentesi. Ciò accade soprattutto nel calcolo con lettere. Dobbiamo esaminare, in questo caso, l'influenza del numero, posto davanti alla parentesi, sui singoli termini entro la parentesi. Si tratta di due fattori che vanno moltiplicati fra loro. Nell'esempio sopra riportato uno dei fattori è 3, l'altro (5 — 1). Come avete però già appreso fin dalla Dispensa N. 1, eseguire una moltiplicazione non significa altro che addizionare un fattore tante volte, quante sono indicate dall'altro fattore. Così possiamo scrivere:

$$3 \cdot (5 - 1) = (5 - 1) + (5 - 1) + (5 - 1)$$

Poichè ciascuna parentesi è preceduta dal segno « + », possiamo tralasciare le parentesi, come è stato spiegato nella Dispensa precedente (regola 7).

$$5 - 1 + 5 - 1 + 5 - 1$$

In questa espressione si ritrovano *tre volte il numero 5 e tre volte il numero 1*. In luogo dei tre 5 isolati possiamo scrivere pertanto 3 . 5. Il numero 1 invece è preceduto ogni volta dal segno « — »; esso va quindi sottratto tre volte e possiamo scrivere — 3 . 1. Si ottiene dunque:

$3 \cdot 5 - 3 \cdot 1 = 15 - 3 = 12$ e quindi $3 \cdot (5 - 1) = 3 \cdot 5 - 3 \cdot 1$

Da ciò deriva la seguente importante regola:

Regola 9: *Si moltiplica un'espressione posta tra parentesi — o polinomio —, per una grandezza situata davanti alla medesima, moltiplicando ciascun termine entro parentesi per la grandezza che precede la parentesi.*

Naturalmente non ha importanza, se la grandezza è posta davanti o dietro la parentesi, poichè otteniamo il medesimo risultato anche se il problema è posto nei seguenti termini:

$$(5 - 1) \cdot 3 = 5 \cdot 3 - 1 \cdot 3 = 12.$$

Esempio 1: $2 \cdot (a + b) = ?$ Si moltiplica per 2 dapprima a, poi b. La soluzione è quindi:

$$2 \cdot (a + b) = 2a + 2b.$$

Potete rendere evidente il significato di questo problema, supponendo che a sia l'abbreviazione di « arancia », e b di « banana ». $(a + b)$ è quindi: 1 arancia + 1 banana. Se raddoppiamo il valore dell'espressione, ossia se la moltiplichiamo per 2, otteniamo, naturalmente, 2 arance + 2 banane. Il nostro problema, espresso in parole, significa quindi: Il doppio di (1 arancia + 1 banana) è 2 arance + 2 banane.

Anche il problema seguente non è più difficile del primo; abbiamo solo la lettera c al posto del numero 2.

Esempio 2: $(a + b) \cdot c = ?$ Moltiplichiamo dapprima $a \cdot c$, poi $b \cdot c$. La soluzione è: $(a + b) \cdot c = ac + bc$.

Esempio 3: $(4a - b) \cdot d = 4ad - bd$.

Esempio 4: $5a \cdot (a - b) = 5aa - 5ab = 5a^2 - 5ab$.

Dal nostro esempio $3 \cdot (5 - 1)$ si ricava un'altra regola importante, che riguarda *il segno delle grandezze*. Bisognava dapprima moltiplicare $3 \cdot 5$ Sono due numeri positivi ed il loro prodotto $3 \cdot 5 = 15$ risulta pure positivo. Occorreva poi moltiplicare il numero 3 col numero 1 preceduto dal segno « — », ossia un numero positivo con uno negativo. Si ottiene allora: $3 \cdot -1 = -3$.

Riscontriamo così la

Regola 10: *Moltiplicando tra loro due grandezze positive, si ottiene come prodotto una grandezza positiva. Moltiplicando invece tra di loro due grandezze, di cui una positiva ed una negativa, si ottiene come prodotto una grandezza negativa.*

Esiste però anche una terza possibilità: qual è il segno che precede il prodotto di due grandezze negative? Vogliamo esaminare questo caso servendoci di un esempio.

$$-3 \cdot (5 - 2) = ?$$

Sappiamo quale deve essere il risultato in questo caso, poichè $5 - 2 = 3$ e $-3 \cdot 3 = -9$. Eliminiamo la parentesi servendoci della regola sopra espressa.

$$-3 \cdot (5 - 2) = -3 \cdot 5 \text{ e } -3 \cdot -2 = ?$$

Ora $-3 \cdot 5 = -15$. Se quindi si deve ottenere il giusto risultato -9, deve essere $-3 \cdot -2 = +6$, poichè $-15 + 6 = -9$. Vale perciò la:

Regola 11: *Moltiplicando tra loro due grandezze negative, si ottiene come prodotto una grandezza positiva.*

Osservate in modo particolare questa regola, che potete ricordarvi così abbreviata: *meno per meno uguale a più.* Le varie regole per il segno dei prodotti si possono riunire nella seguente:

Nella moltiplicazione di due grandezze di ugual segno si ottiene una grandezza positiva; da due grandezze di segno differente si ottiene una grandezza negativa.

Esempio 5: $7a \cdot -4 = -28a$

Esempio :6 $7a \cdot -4b = -28ab$

Esempio 7: $(10a - 4b + 2c) \cdot -2 = -20a + 8b - 4c$

Esempio 8: $3ab \cdot (2a - 3b + 1) = 3ab \cdot 2a - 3ab \cdot 3b + 3ab \cdot 1 = 6a^2b - 9ab^2 + 3ab$

La riduzione delle espressioni tra parentesi.

La riduzione delle espressioni tra parentesi è l'operazione inversa della eliminazione delle parentesi. Come vedrete, essa occorre in molte formule tecniche. Se, per esempio, è data l'espressione $4ad - bd$, possiamo anche scrivere, come abbiamo visto precedentemente nell'esempio 3: $(4a - b) \cdot d$ oppure, ciò che è lo stesso: $d \cdot (4a - b)$. Abbiamo dunque: $4ad - bd = d \cdot (4a - b)$

Questa operazione è possibile, poichè in entrambi i termini dell'espressione $4ad - bd$ è contenuto il medesimo fattore d. Ecco la relativa regola:

Regola 12: *Quando in tutti i termini di una espressione (polinomio) è contenuto il medesimo fattore, questo può essere estratto e posto davanti alla parentesi, lasciando entro di essa i termini, ridotti del fattore suddetto.*

Esempio 9: È data la somma $2a + 2b$. Qual è il fattore che si può estrarre, e come diventa l'espressione dopo la riduzione?

Il fattore contenuto in entrambi i termini è 2. Estraendo 2, si ha: $2a + 2b = 2 \cdot (a + b)$

Confrontando con l'esempio 1, noterete chiaramente che la « riduzione delle espressioni tra parentesi » è il contrario della « eliminazione delle parentesi ».

È molto facile eseguire la prova di tali problemi. Si supponga che sia dato il compito di eliminare la parentesi dell'espressione $2 \cdot (a + b)$. Seguendo la regola 9, si ottiene:

$$2 \cdot (a + b) = 2a + 2b.$$

Poichè tale risultato corrisponde al valore iniziale del problema proposto poc'anzi, si deduce che l'operazione è stata eseguita correttamente.

Esempio 10: È dato: $5cd - 3cd - cdn$. Si riduca il polinomio ai minimi termini (cioè si estraggano quanti più fattori è possibile). In tutti e tre i termini sono contenuti c e d. Quindi $5cd - 3cd - cdn = cd \cdot (5 - 3 - n) = cd \cdot (2 - n)$.

La motiplicazione dei polinomi tra loro.

Regola 13: *Le espressioni tra parentesi, o polinomi, si moltiplicano tra di loro, moltiplicando ciascun termine del primo polinomio per ciascun termine del secondo polinomio.*

Esempio 11: $(a + b) \cdot (c + d)$.

Si può iniziare la moltiplicazione con qualsiasi termine indifferentemente. È però preferibile abituarsi ad una certa regolarità nell'eseguire l'operazione. Cominciamo con a e moltiplichiamo prima a con c, poi a con d. Tocca poi a b: moltiplichiamo b con c e b con d. Si ottiene: $ac + ad + bc + bd$.

Esempio 12: $(2 + y) \cdot (3 + d) = 2 \cdot 3 + 2d + 3y + yd = 6 + 2d + 3y + yd$

Esempio 13: $(a + b) \cdot (a + b) = a^2 + ab + ab + b^2 = a^2 + 2ab + b^2$

Domande

1. Ha importanza il fatto che una grandezza, con la quale si desidera moltiplicare un polinomio entro parentesi, si trovi prima o dopo la parentesi?
2. Qual è il segno del prodotto ottenuto moltiplicando due grandezze negative?
3. Qual è il fattore che si può estrarre dall'espressione: $4c + 6d$?

ELETTROTECNICA GENERALE

Il condensatore (Capacità)

Se ci seguite con attenzione, imparerete ora rapidamente che cosa sia un *condensatore* e che cosa si intenda per una *capacità*. Come vedrete in seguito, anche i condensatori, cioè le capacità, rivestono una grande importanza nella tecnica dell'alta frequenza.

Carica e scarica.

Nella fig. 10 è rappresentato un condensatore semplicissimo. Esso è costituito dalle due piastre di metallo *A* e *B*, isolate tra loro dallo strato d'aria situato in mezzo ad esse.

Se si collega una delle due piastre al polo positivo e l'altra al polo negativo di una sorgente di corrente continua, come si vede nella fig. 10, avviene che la piastra *A* si carica di *elettricità positiva*, la piastra *B* di *elettricità negativa*. La carica avviene con estrema rapidità, dopodichè si ha uno stato di riposo. L'elevata resistenza dell'aria interposta tra le due piastre impedisce il passaggio di una corrente.

Fig. 10

Se i fili di collegamento con la sorgente di corrente vengono distaccati da questa e avvicinati tra loro, come disegnato nella figura 11, le cariche elettriche cercano di compensarsi: avviene così la « scarica », che si manifesta anche in modo visibile, sotto forma di una scintilla che scocca da un filo all'altro.

A scarica avvenuta, il condensatore si ritrova nel medesimo stato di prima della carica; le sue piastre sono di nuovo *elettricamente neutrali*, ossia non caricate nè positivamente nè negativamente.

Fig. 11

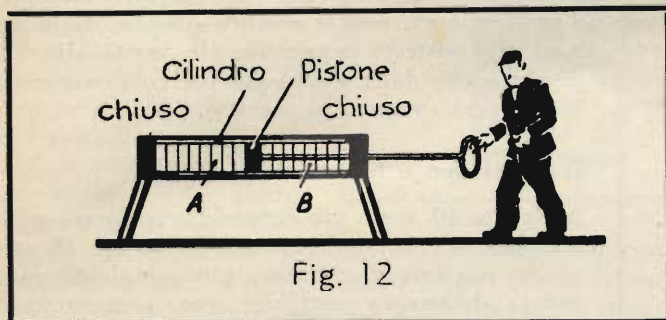
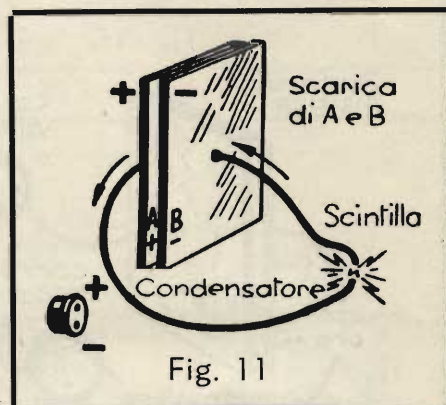
Per facilitarvi la comprensione dei fenomeni ora descritti, ci gioveremo di un paragone, rappresentato nelle figg. 12-14.

Nella fig. 12 vedete un cilindro chiuso da entrambi i lati, entro il quale si trova un pistone che può essere spostato avanti e indietro. Spingendo il pistone verso sinistra, come si vede nella fig. 13, l'aria che si trova nella parte sinistra del cilindro rimane compressa, mentre quella situata nella parte destra viene assoggettata ad una espansione. In questo caso si forma a sinistra una sovrapressione (*più*), mentre a destra si ottiene una depressione (*meno*).

Che avviene ora, se l'uomo che aziona il pistone ne abbandona il manico?

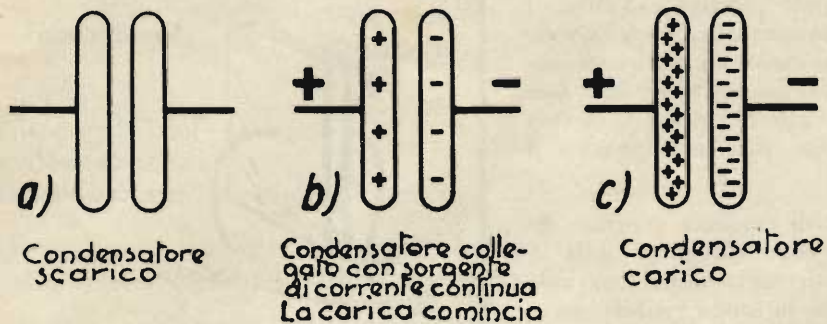
Il pistone ritornerà di scatto nella posizione iniziale, nella quale il

Fig. 12

Fig. 13

« più » da una parte ed il « meno » dall'altra si sono compensati (fig. 14). *La compensazione delle pressioni avviene però con qualche oscillazione pendolare, nel senso che il pistone oltrepasserà dapprima la posizione mediana, provocando per breve tempo una sovrapressione a destra ed una depressione a sinistra. I fenomeni che avvengono durante la compensazione delle cariche elettriche di un condensatore sono molto simili.*

Naturalmente, invece di *spingere verso sinistra* il pistone, sarebbe anche stato possibile *tirarlo verso destra*. In questo caso si sarebbero formate una depressione a sinistra e una sovrapressione a destra: in linea di principio però le condizioni sono identiche alle precedenti. In modo analogo, è indifferente se la piastra di sinistra del condensatore viene collegata col polo positivo della sorgente di corrente, e la piastra di destra col polo negativo, o viceversa. Nella fig. 15 è indicato schematicamente il processo della carica di un condensatore.

Fig. 14

Finora abbiamo parlato soltanto di corrente continua. Se però le due piastre metalliche del condensatore vengono allacciate ad una *corrente alternata*, e viene inserito in uno dei due fili

uno strumento di misura, esso segnerà, con nostro stupore, una corrente. Si tratta però soltanto di una *corrente apparente*, poichè *nemmeno la corrente alternata può attraversare l'elevatissima resistenza dell'aria tra le piastre*. La corrente illusoria è dovuta a un altro effetto, che spiegheremo subito.

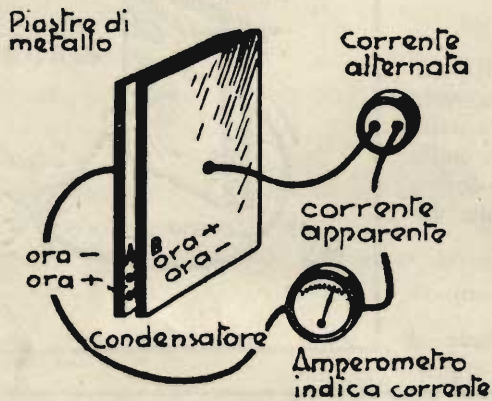
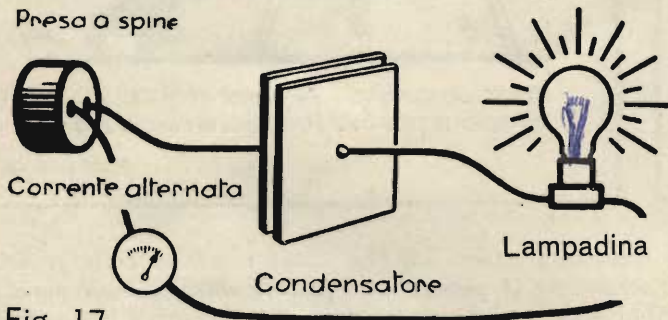
Nell'istante in cui la piastra *A* viene caricata d'elettricità positiva dalla prima semionda (positiva) della corrente alternata, la piastra *B* viene caricata d'elettricità negativa; nell'istante successivo, intervenendo la seconda semionda, nella quale la corrente alternata corre in senso contrario. le piastre vengono dapprima scaricate e poi ricaricate con la polarità inversa. La piastra *A* diventa allora negativa, e la piastra *B* positiva.

Questo ciclo si ripete continuamente. *La continua variazione della carica delle piastre fa sì che nei conduttori, allacciati alle piastre, scorra una corrente alternata.* Essa infatti è indicata dallo strumento inserito nel circuito. *Tra le piastre A e B però non circola corrente.*

Ciononostante si suol dire che i condensatori lasciano passare la corrente alternata, ma non quella continua. Si pensa però agli effetti pratici, non ai fenomeni fisici. Effettivamente, se si collega una lampadina come indicato nella fig. 17, inserendola in un circuito a corrente alternata, in serie con un condensatore, essa si accende proprio come se il condensatore non esistesse nemmeno. (In verità ciò dipende anche dalla grandezza del condensatore, come verrà spiegato in seguito).

Il dielettrico e le armature.

Nella fig. 10 avete già conosciuto la forma più semplice di un condensatore. Nella fig. 18 ne mostriamo uno, di struttura più complessa, ma ancora abbastanza semplice: come « mezzo isolante » serve una *lastra di vetro*. In elettrotecnica, la materia isolante, contenuta tra le piastre di metallo, si chiama « *dielettrico* ».

Le piastre del condensatore, che vi sono note dalla fig. 10, sono costituite da fogli di stagnola, incollati sulle due faccie della lastra di vetro.

La bottiglia di Leida.

Una delle più antiche forme praticamente utilizzabili di condensatore è la cosiddetta « *bottiglia di Leida* » (fig. 19); anche in essa abbiamo, in un certo senso, due piastre metalliche affacciate l'una all'altra, come vedrete subito.

Una *bottiglia di Leida* è costituita da *un recipiente cilindrico di vetro, « armato » internamente ed esternamente di stagnola. Il dielettrico è costituito dal recipiente di vetro stesso. L'armatura interna è collegata generalmente con un'asta di metallo terminante in una piccola sfera.* La carica della bottiglia di Leida avviene, applicando

una tensione continua tra le due armature. La scarica si ottiene facendo un collegamento tra le due armature (fig. 20). Si forma allora una scintilla, che è tanto più forte, quanto più elevata è la tensione applicata e quanto più è grande la bottiglia di Leida.

Le bottiglie di Leida si possono collegare in serie o in parallelo, come le pile, a formare delle batterie.

Fig. 19

La capacità.

Abbiamo parlato già dianzi di condensatori « grossi » e « piccoli ».

Questa distinzione, che riguarda la grandezza dei condensatori, è di primaria importanza; un condensatore grosso può infatti contenere molta elettricità, mentre uno piccolo ne contiene poca. A somiglianza dei recipienti, che possono contenere più o meno liquido, secondo la loro grandezza, e si dicono quindi più o meno « capaci », si parla in elettrotecnica di « *capacità* » di un condensatore (figura 21).

La capacità di un condensatore, cioè la sua facoltà di contenere dell'elettricità, è tanto più grande, quanto più estese sono le superfici metalliche contrapposte, e quanto più piccola è la distanza tra di esse. Essa dipende inoltre anche dalla qualità del dielettrico.

L'unità di misura della capacità.

Fig. 20

Fig. 21

La capacità di grossi condensatori si misura in « *farad* » (questa designazione venne scelta in onore del fisico *Faraday*); la sigla dell'unità è rappresentata dalla lettera *F*. Generalmente l'unità « *1 farad* » (1F) è troppo grande per la pratica. *Si usa pertanto la milionesima parte di essa, detta « microfarad » e abbreviata « µF ».* In radiotecnica si usa perfino un'unità *ancora notevolmente più piccola*, dato che vengono adoperati condensatori particolarmente minuscoli. Si tratta del « *picofarad* » abbreviato « *pF* ») che è *un milionesimo di microfarad*. (Con usanza americana lo si indica anche con $\mu\mu F$).

Secondo quanto abbiamo detto, fra le misure succitate esistono dunque le seguenti relazioni:

$$1F = 1\,000\,000\ \mu F = 10^6\ \mu F$$

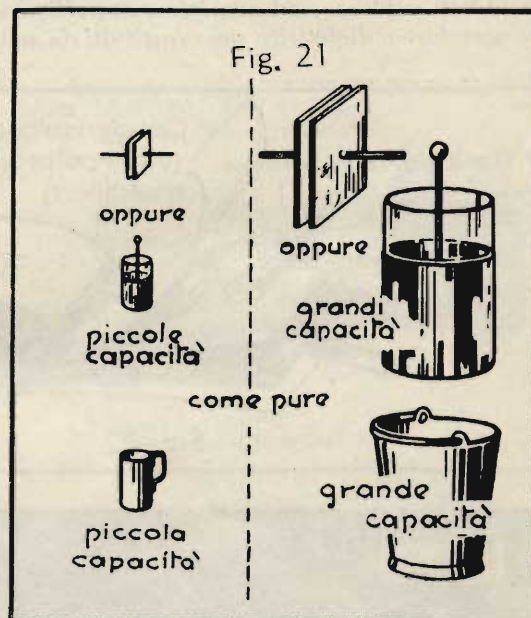
$$1\ \mu F = 1\,000\,000\ pF = 10^6\ pF$$

$$1F = 1\,000\,000 \,.\, 1\,000\,000\ pF = 10^6 \,.\, 10^6\ pF = 1\,000\,000\,000\,000\ pF = 10^{12}\ pF$$

Concludendo, *la capacità si misura, nel sistema elettrotecnico pratico, in farad o in parti di farad.*

Come l'induttanza però, anche la capacità si può misurare in un sistema assoluto, denominato qui *sistema assoluto elettrostatico. L'unità di misura assoluta per la capacità è ancora l'unità di lunghezza « cm ».* Le due unità di misura sono legate dalla seguente relazione:

$$1F = 9 \,.\, 10^{11}\ cm = 900\,000\,000\,000\ cm$$

$$1\ \mu F = \frac{1}{10^6}\ F = 10^{-6}\ F = 10^{-6} \,.\, 9 \,.\, 10^{11}\ cm = 9 \,.\, 10^5\ cm = 900\,000\ cm$$

$$1 pF = \frac{1}{10^{12}} F = 10^{-12} F = 10^{-12} . 9 . 10^{11} cm = 9 . 10^{-1} cm = \frac{9}{10} cm = 0{,}9 cm$$

Vale vicendevolmente la relazione:

$$1 cm = \frac{1}{0{,}9} pF = \frac{10}{9} pF = 1{,}11 pF$$

$$1 cm = \frac{1}{900\,000} \mu F = \frac{10}{9 . 1\,000\,000} \mu F = \frac{1{,}11}{10^6} \mu F = 1{,}11 . 10^{-6} \mu F$$

$$1 cm = \frac{1}{9 . 10^{11}} F = \frac{10}{9 . 10^{12}} F = \frac{1{,}11}{10^{12}} F = 1{,}11 . 10^{-12} F$$

L'unità assoluta « cm » si usa soprattutto in fisica, mentre *in elettrotecnica si preferisce l'unità pratica « F »*. La unità di misura « cm » serve solo, come vedete senz'altro, per capacità assai piccole. *I condensatori a bicchiere posseggono capacità di 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 3, 4 e più μF.*

Forme costruttive di condensatori.

I tipi dei condensatori usati in radiotecnica si suddividono in due gruppi principali: da un lato, *i condensatori* cosiddetti *a blocco, ad avvolgimento, cilindrici ed a mica*; dall'altro, *i condensatori elettrolitici. Nel primo gruppo armature e dielettrico sono costituiti da materie solide,* mentre *nel secondo gruppo si hanno anche delle sostanze liquide o quasi.* Tratteremo dapprima delle forme normali del primo gruppo. Oltre a questi tipi di *condensatori* cosiddetti *fissi*, esistono tipi la cui capacità può essere variata: sono i cosiddetti *condensatori variabili* e « *compensatori* ».

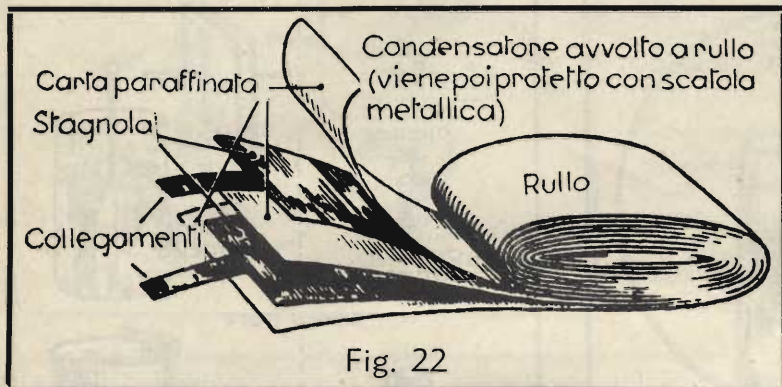



Fig. 22

Condensatori a blocco (di carta).

I condensatori a blocco di carta sono costituiti da nastri di *carta paraffinata e di stagnola*, arrotolati nel modo rappresentato nella fig. 22. *La carta costituisce il dielettrico, e i nastri di stagnola le armature del condensatore.* I rotoli o avvolgimenti finiti vengono collocati entro scatolette parallelepipede (« bicchieri ») di metallo e « miscelati », ossia vi viene versata sopra, fino a riempire il bicchiere, una speciale miscela isolante e protettrice a base di paraffina. Dalla scatoletta si lasciano sporgere in alto gli attacchi o collegamenti delle armature. Tali condensatori si trovano in commercio sotto la designazione di « *condensatori a bicchiere* » o « *a blocco* ». La fig. 23 ne esemplifica alcune forme costruttive.

Fig. 23

Quando gli avvolgimenti non sono montati entro una custodia, ma soltanto immersi nella massa isolante, si parla spesso di *condensatori a rotolo.*

Condensatori cilindrici.

Una forma molto usata nella tecnica delle telecomunicazioni è quella dei piccoli *condensatori cilindrici*, visibili nella figura 24. Generalmente *la loro capacità si aggira nei limiti da 100pF a 2 μF. Come dielettrico si usa di solito carta impregnata*, inserita in uno o più fogli, secondo il valore della tensione da applicare, tra le armature di foglio di alluminio. I condensatori così avvolti vengono infilati in un tubetto di cartone e richiusi.

Per gli scopi radiotecnici si richiede da un buon condensatore che esso funzioni realmente come una « pura capacità ».

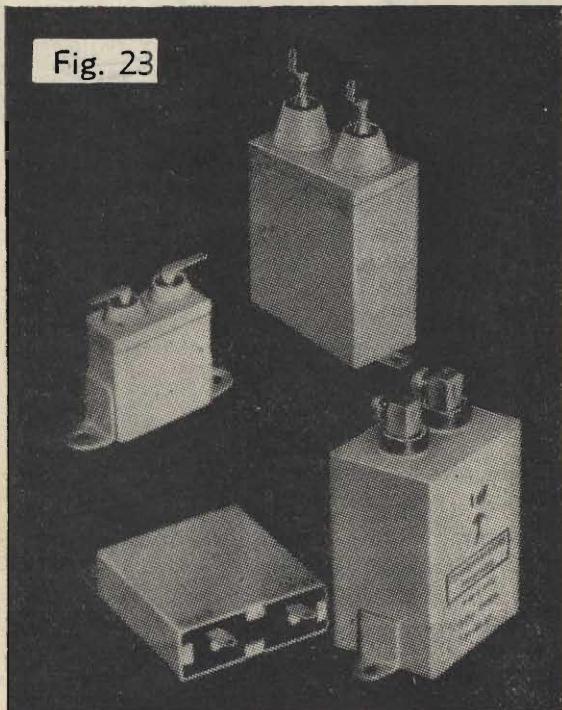
Come avete però già appreso, un avvolgimento agisce come

un'induttanza, poichè, quando è percorso da corrente alternata, crea un campo magnetico ed oppone quindi una resistenza al passaggio della corrente stessa. Questo effetto è inopportuno nei condensatori, poichè le correnti alternate dovrebbero poter passare indisturbate. Siccome i nastri costituenti le armature vengono arrotolati assieme agli strati intermedi, formando un avvolgimento, occorre un accorgimento speciale per impedire questo effetto autoinduttivo.

Fig. 24

La fig. 25-*a* dimostra la formazione di un condensatore cilindrico dotato d'auto induzione. Le due armature sono avvolte in modo semplice e le loro estremità sono saldate ai terminali uscenti.

Nella fig. 25-*b* è invece rappresentata la formazione di un condensatore cilindrico « anti-induttivo ». Anche qui le armature sono arrotolate come nella struttura sopra descritta; diversamente da questa, però, i terminali sono costituiti nel modo seguente: il foglio metallico viene fatto sporgere lateralmente dall'isolante, un'armatura da un lato, l'altra dall'altro. Il bordo sporgente viene saldato assieme e collegato col termine uscente. Si ottengono in tal modo due spirali infilate l'una nell'altra, e che possiamo anche considerare come numerose bottiglie di Leida poste l'una entro l'altra e collegate in parallelo. I condensatori di questo genere posseggono un'induttanza trascurabile, sono chiamati *condensatori anti-induttivi* e vengono usati vantaggiosamente nella radiotecnica.

Fig. 25

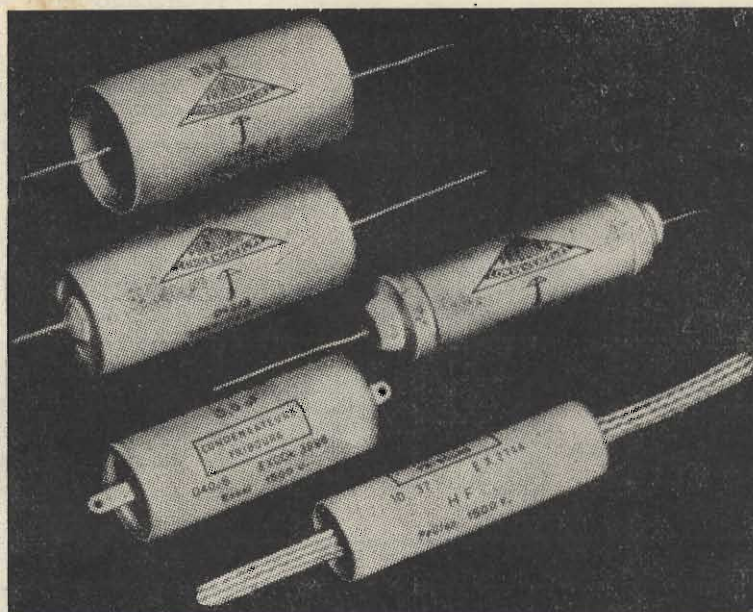
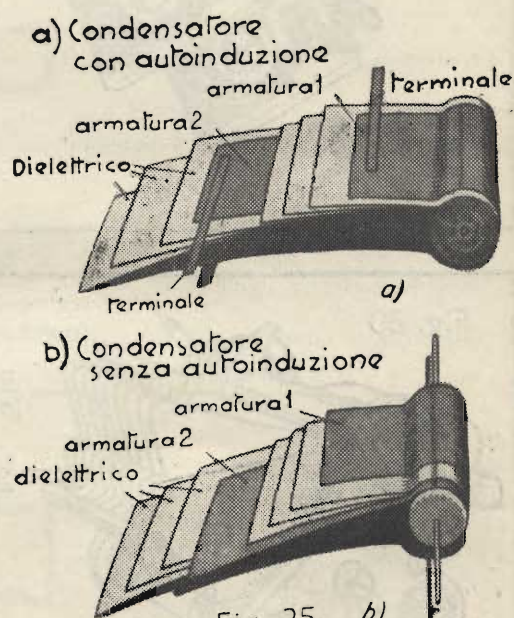
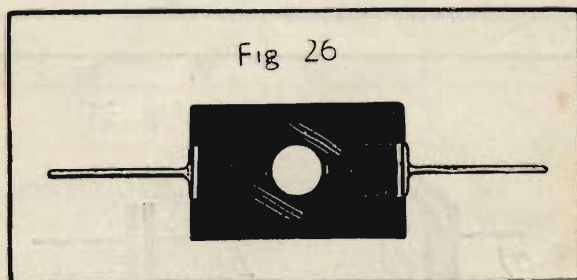
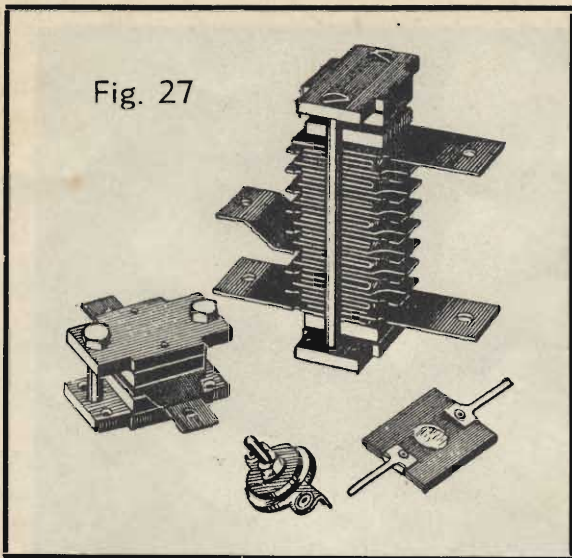
Condensatori a mica.

In molti casi della tecnica dell'alta frequenza i condensatori *a carta* ora descritti non sono più idonei; si usano allora *come dielettrico*, in luogo degli strati intermedi di carta, delle *piastrine di mica*. La mica è un minerale naturale e si trova racchiusa in certe specie di rocce. Quando è di qualità pura, si può sfaldare in lamine sottilissime e trasparenti come il vetro, che si adoperano come isolanti tra le armature dei condensatori. *I condensatori a mica non sono arrotolati*, poichè il materiale non lo consente, ma hanno la forma rappresentata nelle figg. 26 e 27. I valori di capacità si aggirano dai 5 pF fino a circa 20 000 pF. In confronto ai condensatori a carta presentano soprattutto il vantaggio delle minori perdite e della grande costanza.

Fig 26

Compensatori.

In radiotecnica occorre spesso di poter regolare il valore della capacità entro determinati limiti. Quando tale messa a punto deve essere effettuata una volta sola, si usano i cosiddetti *compensatori* raffigurati nelle figg. 28 e 29. Questi *compensatori* o *condensatori aggiustabili* sono montati *su una piastrina ceramica* e posseggono come dielettrico della *mica*.

Fig. 27

Agendo sulla vite visibile anteriormente, è possibile variare il valore della capacità. L'armatura superiore è infatti costituita a forma di molla a lamina, la cui distanza dall'armatura inferiore viene determinata dalla posizione della testa della vite. Stringendo la vite, la distanza diminuisce e quindi aumenta la capacità; se invece viene allentata, la molla si distacca per elasticità e la capacità diminuisce.

Condensatori variabili.

Un tipo speciale di condensatore molto usato in radiotecnica è il cosiddetto *condensatore variabile* rotativo. La capacità è variabile a piacere, entro certi limiti (più vasti che nei compensatori); ciò avviene, in quanto tali condensatori sono costituiti da due pacchi di lamine metalliche, intercalate le une tra le altre, e mobili in modo da poter modificare la porzione delle superfici affacciate (fig. 30).

Il *simbolo dei condensatori* è derivato dalla rappresentazione visibile nella fig. 31-*a*; è costituito da due tratti paralleli

Fig. 28

Fig. 29

Fig. 30

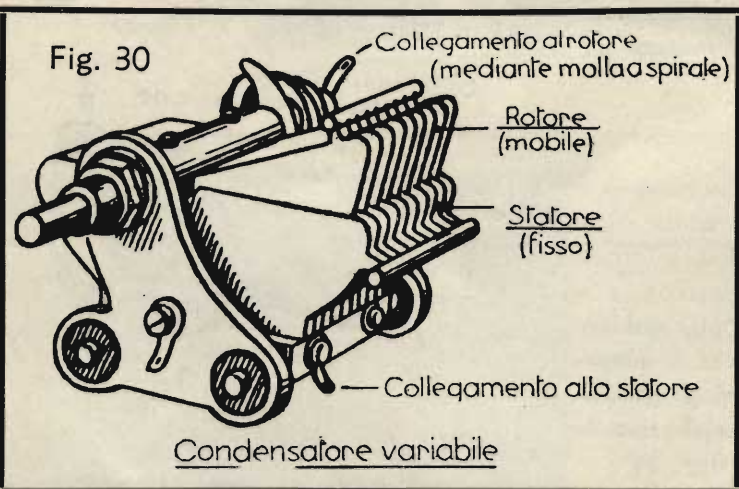
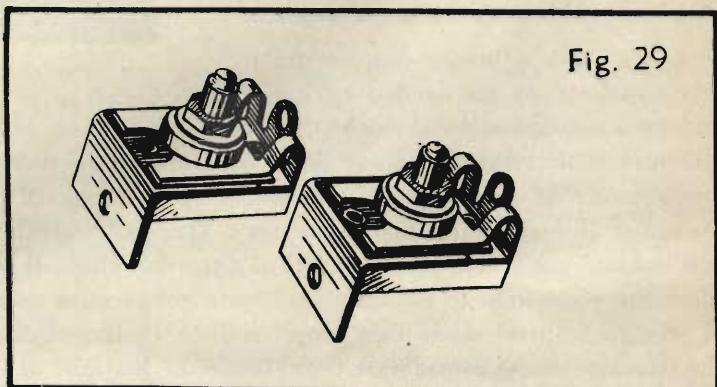
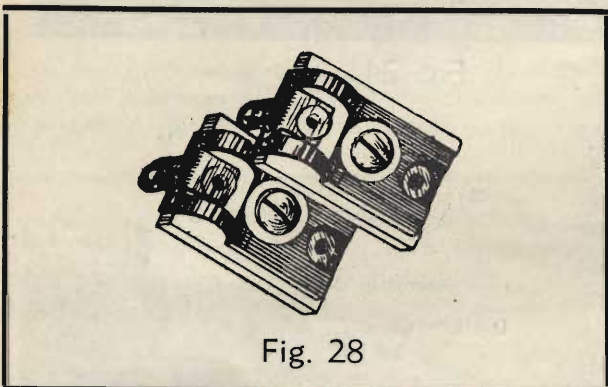
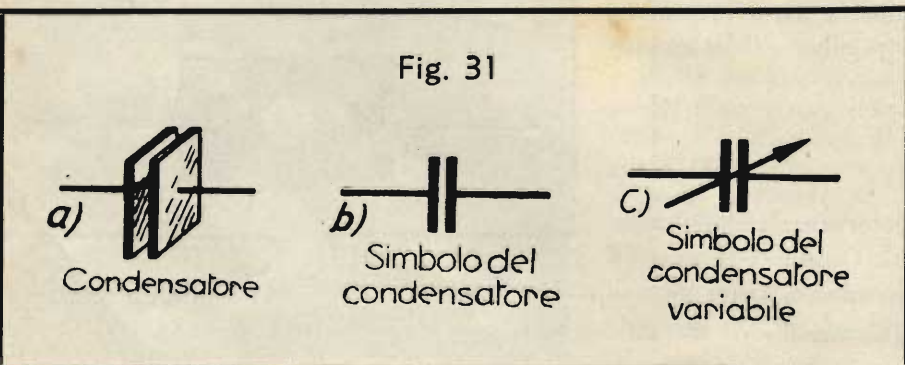
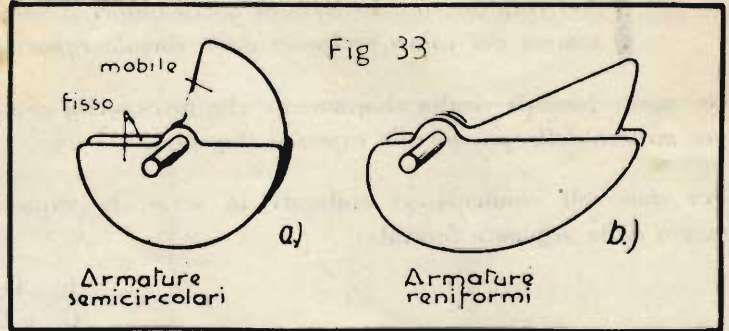
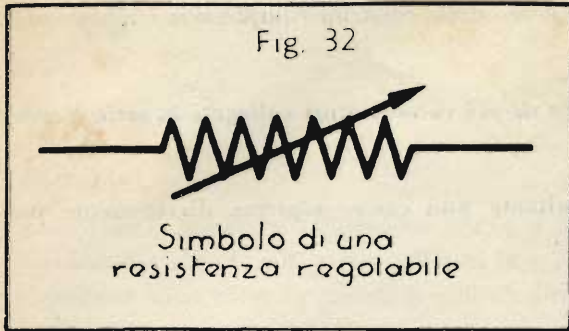
Condensatore variabile

verticali di uguale grossezza, che simboleggiano le due superfici metalliche affacciate, nonchè dai due collegamenti uscenti (fig. 31-*b*). Il simbolo di un condensatore variabile è rappresentato nella fig. 31-*c*; esso si distingue dal simbolo di un comune condensatore (fisso) perchè è attraversato da una freccia inclinata. Questa freccia la troverete anche con altri simboli; essa significa che l'elemento o l'organo in questione può essere modificato in modo continuo in qualche sua proprietà elettrica. Per esempio il simbolo disegnato nella fig. 32 rappresenta una resistenza variabile in modo continuo. Esso indica propriamente che si tratta di *una resistenza dotata non solo di resistenza ohmica, ma anche di induttanza.* Il segno grafico usato finora si usa solo per resistenze puramente ohmiche, prive di autoinduzione.

Fig. 31

Anche per avvolgimenti qualsiasi, per esempio di traslatori o di relè, si può adoperare il simbolo della fig. 32, *senza però la freccia*. Di questo argomento dovremo riparlare, ora torniamo al condensatore.

Le *piastrine statoriche e rotoriche*

dei condensatori variabili posseggono una forma ben determinata e studiata. *In passato si facevano a forma di semicerchio* (fig. 33-*a*), ma la pratica dimostrò che questa forma non è la più adatta. *Oggi si usano generalmente piastre di condensatore a forma di rene o di fagiuolo*, come appare nella fig. 33-*b*.

Collegamento in parallelo di condensatori.

Collegando in parallelo più condensatori, le loro capacità si sommano, come avrete già rilevato dalla fig. 27. Nella fig. 34 sono rappresentati schematicamente alcuni condensatori collegati in parallelo. La capacità complessiva tra A e B ha il seguente valore:

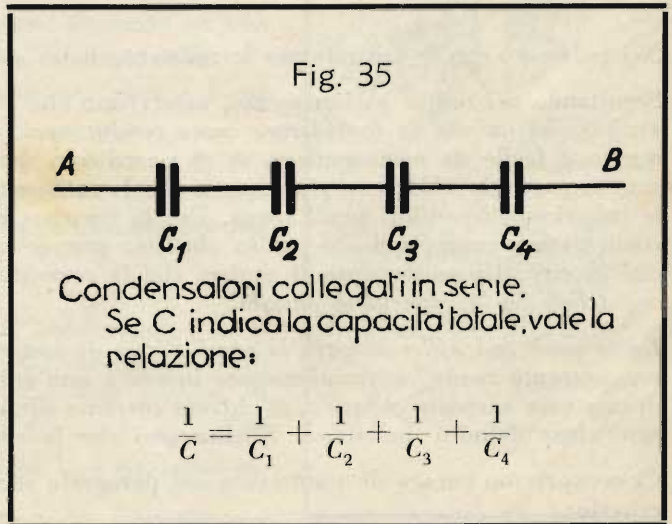
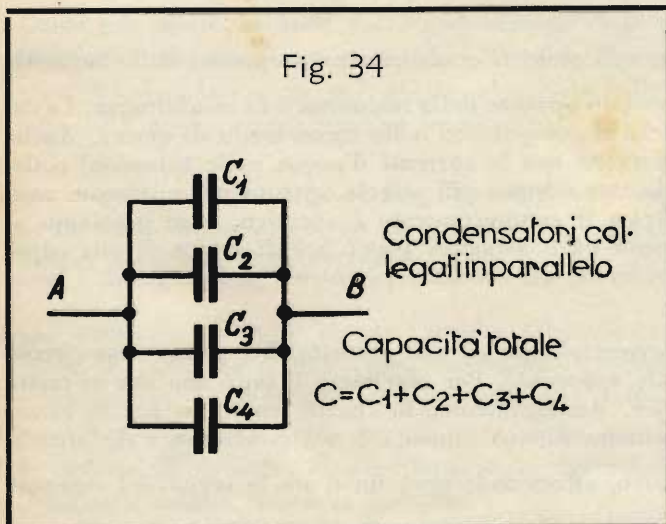
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots \qquad \text{Formula (17)}$$

Nel collegamento in parallelo di condensatori la capacità complessiva è la somma delle singole capacità.

Collegamento in serie di condensatori.

Quando i condensatori sono invece collegati in serie, come si vede nella fig. 35, la capacità complessiva C risulta diminuita, perchè gli strati isolanti rimangono uno dietro l'altro.

Vale allora la seguente relazione:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots \qquad \text{Formula (18)}$$

Nel collegamento in serie di condensatori il valore reciproco della capacità complessiva è uguale alla somma dei valori reciproci delle singole capacità.

Da questa formula risulta chiaramente che *la capacità complessiva di più condensatori collegati in serie è sempre minore della più piccola capacità singola.*

Per *due* soli condensatori collegati in serie, la capacità risultante può essere espressa direttamente per mezzo della seguente formula:

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Del resto *la capacità complessiva di due capacità uguali, collegate in serie, equivale alla metà di una capacità singola.* Se i due condensatori hanno ciascuno una capacità di 100 pF, la capacità complessiva è uguale a 50 pF. (L'esattezza di questa affermazione può essere controllata senz'altro mediante l'equazione sopra riportata).

Considerate ora attentamente le formule per i collegamenti in serie e in parallelo delle resistenze, delle induttanze e delle capacità. Per le resistenze avevamo trovato che, nel collegamento in serie, la resistenza complessiva equivale semplicemente alla somma delle resistenze singole, mentre il ragionamento ci fece concludere che nel collegamento in parallelo si devono considerare i valori reciproci delle resistenze.

Resistenze ohmiche

Serie	*Parallelo*
$R_{totale} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$	$\frac{1}{R_{totale}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

Questa legge è diventata evidente per noi. Infatti è così anche nella vita: quando dobbiamo affrontare tutta una serie di resistenze e di difficoltà, diciamo di incontrare delle forti resistenze. Quando invece, per raggiungere un determinato scopo, ci si presentano diverse strade, diciamo di tentare parallelamente varie soluzioni, e la difficoltà risultante ci sembra minore.

Consideriamo ancora le corrispondenti formule per le capacità:

Capacità

Serie	*Parallelo*
$\frac{1}{C_{totale}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$	$C_{totale} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$

Nel confronto con le formule per le resistenze balza subito agli occhi *il comportamento opposto delle capacità.*

Seguitando nel nostro ragionamento, osserviamo che *il concetto opposto della resistenza è la conduttanza. Le capacità sono quindi da considerare come conduttanze*, poichè si comportano nello stesso modo di queste. Anche questo è facile da comprendere, se ci ricordiamo del paragone con le correnti d'acqua nelle tubazioni collegate in parallelo. Abbiamo visto infatti che la resistenza diventa sempre più piccola, quanto più numerose sono le tubazioni disponibili per l'acqua. Per la corrente elettrica il comportamento è identico, e se pensiamo al condensatore comprendiamo subito che *una grande capacità offre maggiori possibilità di carica di una capacità piccola.* Di conseguenza si capisce che *la corrente apparente nei conduttori è intensa se la capacità è grande, debole se la capacità è piccola.*

Esiste però una differenza tra la conduttanza di una resistenza ohmica ed una capacità. Nel primo caso circola una corrente reale; nel condensatore invece è una corrente apparente. Per esprimere il fatto che non si tratta di una vera corrente elettrica, si chiama *corrente dielettrica.* Analogamente, lo spazio compreso tra le armature viene definito dielettrico. Si dice così che la conduttanza di una capacità è una conduttanza dielettrica.

Ci occuperemo ancora di queste cose nel paragrafo successivo, affermando però fin d'ora la verità del seguente criterio:

La capacità ha il significato di una conduttanza dielettrica, ossia del reciproco di una resistenza dielettrica.

Ed ora un non troppo facile

Esempio:

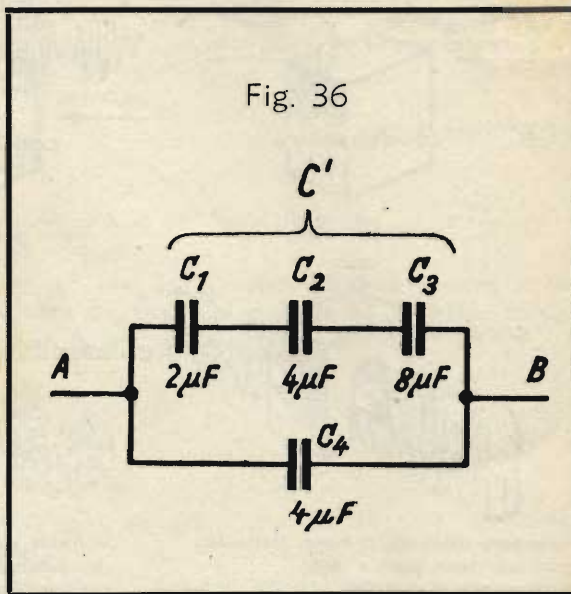
Calcolare la capacità complessiva tra A e B (fig. 36). I tre condensatori C_1, C_2 e C_3 sono collegati in serie, mentre il condensatore C_4 si trova in parallelo agli altri tre. Le singole capacità sono:

$$C_1 = 2\mu F,\ C_2 = 4\mu F,\ C_3 = 8\mu F,\ C_4 = 4\mu F.$$

Soluzione:

Si determina dapprima la capacità risultante C' dei tre condensatori collegati in serie. Applicando la formula (18) si ha:

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} = \frac{4+2+1}{8} = \frac{7}{8}$$

Si ricava: $C' = \frac{8}{7} \approx 1{,}14\ \mu F$

La capacità complessiva C di tutto l'insieme risulta dal collegamento in parallelo di C_4 con C' ed è quindi:

$$C = C' + C_4 = 1{,}14 + 4 = 5{,}14\ \mu F$$

Il passaggio della corrente alternata attraverso i condensatori.

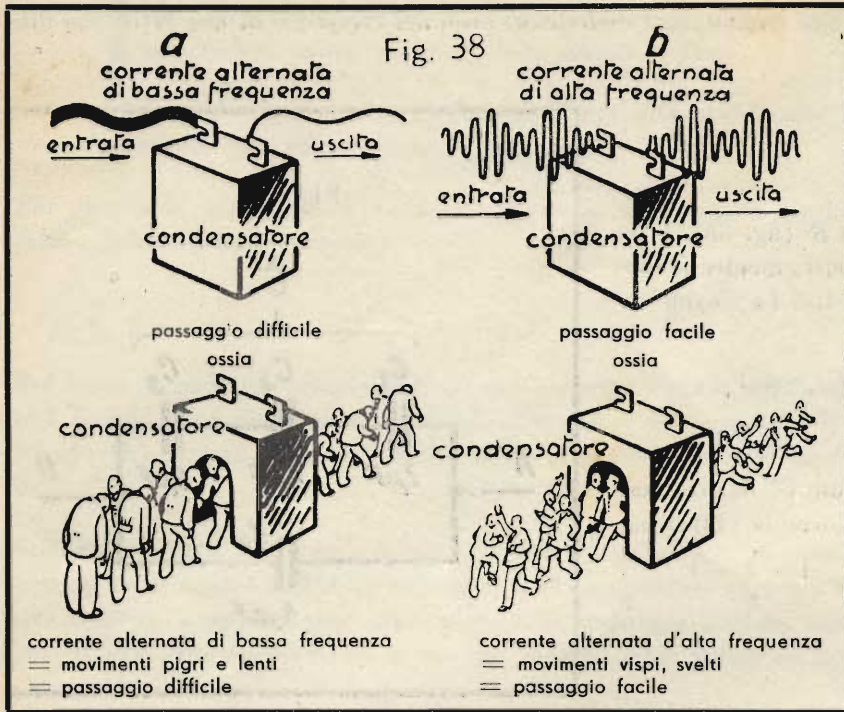
Mantenendo il modo di dire usato già in precedenza, secondo il quale i condensatori « lasciano passare » la corrente alternata (cosa che fisicamente non è esatta), non dobbiamo tralasciare di notare che la corrente alternata attraversa tanto più facilmente un condensatore, quanto più alta è la sua frequenza.

Una corrente alternata ad alta frequenza, che abbia, ad esempio, 10 000 o 100 000 o addirittura milioni di oscillazioni al secondo, passa molto più facilmente attraverso un condensatore che una corrente a bassa frequenza o frequenza industriale, per esempio di 50 Hz (vedi fig. 38-*a* e *b*).

D'altra parte un condensatore da 10 microfarad, p. es., lascia passare molto meglio la corrente alternata a 50 Hz che un condensatore da solo 1 microfarad (vedi fig. 37-*a* e 37-*b*).

Come già sapete, le onde radio costituiscono delle correnti alternate ad alta frequenza, che attraversano quindi facilmente i condensatori, mentre le correnti « industriali », p. es., quelle usate per l'illuminazione, sono a bassa frequenza e attraversano male i condensatori.

Da quanto abbiamo detto risulta che *un condensatore conduce tanto meglio la corrente alternata, quanto più grande è la capacità del condensatore e più alta la frequenza della corrente.*

Ciò concorda col fatto che la capacità rappresenta una conduttanza dielettrica. Si può quindi dire che la resistenza dielettrica del condensatore diminuisce con l'aumentare della capacità. Del resto, poichè non si tratta di una vera e propria resistenza, si parla anche per i condensatori, come per le bobine d'induzione, di « *reattanza* »; si distingue infatti la « *reattanza capacitiva* » dalla « *reattanza induttiva* ».

Concludendo, data la grande importanza di queste nozioni, confrontiamo il comportamento del condensatore col comportamento della bobina d'induzione. Essi sono perfettamente opposti.

La *reattanza* di un *condensatore* è tanto più *piccola*, quanto più grande è la capacità dello stesso e più alta la frequenza della corrente.

La *reattanza* di una *bobina d'induzione* è tanto più *grande*, quanto più grande è l'induttanza della stessa e più alta la frequenza della corrente.

Il calcolo della capacità.

La capacità di un condensatore a piastre dipende dalla superficie attiva A (in cm^2) di una piastra, dalla distanza tra le piastre d (*cm*), e dalla «conduttività dielettrica » dello strato isolante.

Avete già appreso che questo strato isolante tra le piastre o armature si chiama « dielettrico ». *Ogni materiale isolante, che può servire come dielettrico, è contraddistinto da un dato numero invariabile (costante), caratteristico per le proprietà dielettriche del materiale stesso.* Questa costante si chiama « *conduttività dielettrica* » e si designa con la lettera maiuscola greca Δ (« delta »). Δ si misura coll'unità $\frac{\text{farad}}{\text{cm}}$.

Se un condensatore a piastre, che abbia per dielettrico l'aria, viene posto in un recipiente a chiusura ermetica, e si estrae con una pompa tutta l'aria dal recipiente, tra le piastre non si trova più alcuna materia. Il dielettrico è allora costituito dal « nulla », cioè dal « vuoto ». Il valore della conduttività dielettrica del vuoto è stato determinato sperimentalmente in

$$\Delta_0 = 0{,}0884 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{cm}} = 0{,}0884 \frac{pF}{cm}$$

Poichè *il vuoto costituisce il migliore isolante, la sua conduttività dielettrica è la peggiore, cioè la più piccola di tutte.*

Tutti i materiali utilizzabili come dielettrici posseggono una conduttività dielettrica Δ più grande. Il rapporto della conduttività dielettrica Δ *di un corpo qualsiasi* rispetto alla conduttività dielettrica Δ_0 *del vuoto* si chiama « *costante dielettrica* ». Per tale grandezza si usa come sigla la lettera greca ε (« epsilon »).

La costante dielettrica $\varepsilon = \frac{\Delta}{\Delta_0}$ è un numero come si suol dire « *senza dimensione* », cioè senza unità di misura, perchè *indica quante volte la conduttività dielettrica di una data sostanza è superiore alla conduttività dielettrica del vuoto.* Ciò risulta chiaramente dalla seguente equazione :

$$\Delta = \varepsilon \cdot \Delta_0 \quad \text{. . . . . . . Formula (19)}$$

La costante dielettrica dell'aria e di altre sostanze gassose è praticamente uguale ad 1; ciò significa che *la capacità di un condensatore nell'aria e nel vuoto è praticamente la stessa.* Per l'aria vale quindi $\Delta = 1 \cdot \Delta_0 = \Delta_0$.

Per le sostanze isolanti solide generalmente usate ε si aggira all'incirca tra 2 e 80. A seconda della purezza del materiale considerato, la costante dielettrica può variare entro determinati limiti. Per esempio, per la *mica* ε = *7*, per l'*ebanite* ε = *3*, per il vetro ε = da *4,2 fino a 16,5*, per la *carta bachelizzata* ε = da *4,5 fino a 6*, per la *porcellana dura* ε = da *5 fino a 6,5*; per i *materiali ceramici moderni* usati nella fabbricazione dei condensatori, chiamati *Condensa N* e *Condensa C*, è rispettivamente ε = *40* ed ε = *80*. Nella Tabella N. 3 di questa Dispensa sono riuniti i valori ε dei più importanti dielettrici per condensatori.

Spiegando il concetto della « capacità » era già stato fatto osservare che questa aumenta, quanto più grande è la superficie A di una piastra e più piccola la distanza d fra le armature.

Come terza grandezza, da cui dipende la capacità dobbiamo ora aggiungere la *conduttività dielettrica. Più grande è Δ, e maggiore diventa la capacità.* Da queste relazioni si ottiene, per un condensatore semplice costituito da due sole piastre:

$$\boxed{C = \frac{\Delta \cdot A}{d}}$$ . . . . Formula (20)

Il valore di C si ottiene in farad, se si inserisce il valore di Δ in $\frac{F}{cm}$, e in pF, se si inserisce Δ in $\frac{pF}{cm}$.

Problema: La distanza tra le piastre di un condensatore è $d = 0{,}1$ cm, la superficie di una piastra $A = 100\ cm^2$. Come dielettrico si usa aria, la cui costante dielettrica ε equivale ad 1. Qual è il valore della capacità di questo condensatore espressa in farad, picofarad e centimetri?

Soluzione: La conduttività dielettrica dell'aria è:

$$\Delta = \varepsilon \cdot \Delta_0 = 1 \cdot 0{,}0884 \cdot 10^{-12} = 0{,}0884 \cdot 10^{-12} \frac{F}{cm}$$

Inseriamo questo valore e quelli dati nella formula (20) e otteniamo:

$$C = \frac{\Delta \cdot A}{d} = \frac{0{,}0884 \cdot 10^{-12} \cdot 100}{0{,}1} = 0{,}0384 \cdot 10^{-12} \cdot 1000 = 0{,}0884 \cdot 10^{-12} \cdot 10^3 = 0{,}0884 \cdot 10^{-9}$$
$$= 0{,}000\ 000\ 000\ 0884\ F$$

Per il calcolo del valore nelle altre unità teniamo conto della relazione $1F = 10^{12}$ pF.

Quindi:

$0{,}000\ 000\ 000\ 0884\ F = 0{,}000000\ 000\ 0884 \cdot 10^{12}\ pF =$ *88,4 pF.*

Questo valore in pF si sarebbe potuto ricavare anche direttamente dalla formula (20), inserendo per Δ il valore in pF/cm, cioè 0,0884 pF/cm. Per il calcolo del valore in cm bisogna poi usare la relazione 1 pF = 0,9 cm. Si ottiene allora: 88,4 pF = 88,4 . 0,9 cm = *79,56 cm.*

Se un condensatore è costituito da parecchie piastre collegate in parallelo, il cui numero indichiamo con m, si trovano tra le piastre $m - 1$ strati isolanti. L'intiero condensatore è costituito quindi da $m - 1$ singoli condensatori collegati in parallelo. La capacità complessiva è però uguale alla somma delle singole capacità, e quindi (secondo la formula 17):

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Poichè tutte le singole capacità sono uguali tra loro, la somma equivale a $m - 1$ volte la capacità singola. Non occorre scrivere un'apposita formula: *si calcola la capacità singola in base alla formula (20) e si moltiplica per $m - 1$.*

Supponiamo che il condensatore sia costituito da 10 piastre (collegate in due gruppi di cinque):

$m = 10$, quindi $m - 1 = 10 - 1 = 9$, e la capacità complessiva risulta:

$$C' = (m - 1) \cdot C = 9 \cdot 88{,}4\ pF = 795{,}6\ pF.$$

Domande

1. Qual è la grandezza caratteristica di un condensatore?
2. Quali sono le abbreviazioni per le unità di misura microfarad e picofarad?
3. Da che cosa dipende la capacità di un condensatore?
4. Quattro condensatori da 1 μF sono collegati in serie. Qual è la capacità risultante?
5. Dieci condensatori da 5 μF sono collegati in parallelo. Qual è la capacità risultante?
6. Due condensatori da 4 μF sono collegati in serie; in parallelo ad essi si trovano due altri condensatori, pure collegati in serie tra loro, e la cui capacità è ugualmente di 4 μF. Qual è, in questo caso, la capacità complessiva?
7. Qual è la capacità di un condensatore con 12 piastre, con superficie $A = 120\ cm^2$ e distanza $d = 2$ mm? Il dielettrico è l'aria.

Risposte alle domande di pag. 4

1. Si chiama bobina d'impedenza una bobina d'induzione, che serve ad impedire completamente o quasi il passaggio di una corrente alternata.

2. Secondo la formula (14) è:
$L = L_1 + L_2 + L_3$ quindi $L = 200 + 150 + 220 = 570\ mH$

3. Secondo la formula (15) è: $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{100} + \frac{1}{400}$

Comune denominatore = 400.

$$\frac{1}{L} = \frac{4}{400} + \frac{1}{400} = \frac{5}{400};\ L = \frac{400}{5} = 80\ mH$$

4. Per $\frac{l}{D} = \frac{18}{10} = 1{,}8$ si ricava dalla fig. 7: $k = 0{,}8$. Questa volta è già indicato addirittura il numero di spire per centimetro di lunghezza della bobina: $w_1 = 120$. Secondo la formula (16) è:

$L \approx k \cdot w_1^2 \cdot D^2 \cdot l \cdot 10^{-8} = 0{,}8 \cdot 120^2 \cdot 10^2 \cdot 18 \cdot 10^{-8} = 0{,}8 \cdot 14\,400 \cdot 100 \cdot 18 \cdot 10^{-8} = 20\,736\,000 \cdot 10^{-8}$
$= 0{,}20736\ \text{H} = 207{,}36\ mH$

A causa dell'esponente $^{-8}$ bisogna spostare la virgola di 8 decimali verso sinistra.

Risposte alle domande di pag. 6

1. Non ha importanza, poichè in entrambi i casi si ottiene il medesimo risultato.
2. Il prodotto è positivo, poichè due grandezze d'ugual segno moltiplicate tra loro danno un prodotto positivo.
3. Si può estrarre il fattore 2, che è contenuto in entrambi i termini, poichè invece di $4c$ si può scrivere $2 \cdot 2 \cdot c$, e invece di $6\,d$, $2 \cdot 3 \cdot d$. Quindi: $4c + 6d = 2\,(2c + 3d)$.

Risposte alle domande di pag. 17

1. La grandezza che contraddistingue un condensatore è la sua « capacità ».
2. L'abbreviazione di microfarad è « μF »; quella di picofarad, « pF ».
3. La capacità di un condensatore dipende dalla superficie delle piastre (rispettivamente, delle armature, considerando il numero delle piastre), dalla distanza tra le piastre e dalla conduttività dielettrica.
4. $\frac{1}{C} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} = 1 + 1 + 1 + 1 = 4;$

   $C = \frac{1}{4} = 0{,}25$ *microfarad.*

5. $10 \cdot 5 = 50$ *microfarad.*
6. I due condensatori da 4 μF, collegati in serie, danno una capacità risultante $C' = 2\ \mu\text{F}$, poichè:

   $\frac{1}{C'} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2}$; $C' = 2$. Lo stesso vale naturalmente per gli altri due condensatori collegati in serie.

   Poichè poi i due gruppi sono collegati in parallelo, la capacità complessiva è: $C = C' + C' = 2 + 2 = 4\ \mu F$.

7. Dato $m = 12$, si ha $m - 1 = 12 - 1 = 11$, numero dei condensatori collegati in parallelo. La capacità di ogni singolo condensatore si ottiene, ponendo $d = 2$ mm $= 0{,}2$ cm; $\varepsilon = 1$ per l'aria e $\Delta = \varepsilon\,\Delta_0 = 1 \cdot 0{,}0884 \cdot 10^{-12}\ \frac{\text{F}}{\text{cm}} = 0{,}0884$ pF/cm, in $C = \frac{\Delta \cdot A}{d} = \frac{0{,}0884 \cdot 120}{0{,}2} = 53\ pF$

   La capacità complessiva è:

   $C' = (m - 1)\ C = 11 \cdot 53 = 583\ pF$

   583 pF = 583 . 0,9 cm = *524,7 cm*

IMPIANTI DI SEGNALAZIONE

Ancora qualcosa sui relè

Il relè è un organo molto importante nella tecnica delle telecomunicazioni. Avete conosciuto il relè a suo tempo, in relazione con gli impianti telegrafici. Vi ricorderete inoltre che, negli impianti di chiamata luminosa, i relè sono usati per numerose funzioni di assoluta necessità. Vogliamo occuparci ora più dettagliatamente del relè e delle sue possibilità di impiego.

Relè per esercizio a corrente di lavoro

Relè per esercizio a corrente di riposo

Relè a contatti sovrapposti

L = terminale dell'avvolgimento
W = avvolgimento elettromagnetico
E = nucleo di ferro
A = ancora
l = pagliette d'attacco dei contatti
I = giogo
a, b = contatti
1-4 = lamine dei contatti
M = dado di fissaggio
s = vite di regolazione
d = chiodino per impedire l'incollamento dell'ancora al nucleo
t = spinotto che passa attraverso un foro nella lamina 2

Eccitando il relè, il contatto a si chiude e il contatto b si apre (per mezzo dello spinotto t)

a e b = Contatti
W = Avvolgimenti
A = Ancora
S = Vite di regolazione

Nella tecnica delle correnti forti il relè si chiama anche « *teleruttore* »; esso può venire impiegato, come già sapete, tanto nell'esercizio *a corrente di lavoro, quanto in quello a corrente di riposo.*

Nella fig. 39 vedete un *relè per corrente di lavoro*, usato in un impianto di suoneria. Il relè rende utili servizi nel caso di *linee lunghe* e quando si richieda *una grande intensità sonora dei segnali.*

Nella fig. 39 è rappresentato anche il simbolo per la suoneria a corrente continua. Lo schema *per esercizio a corrente di riposo* è riportato nella fig. 40. In questo caso la corrente circola nel relè continuamente; si tratta però di una corrente relativamente debole.

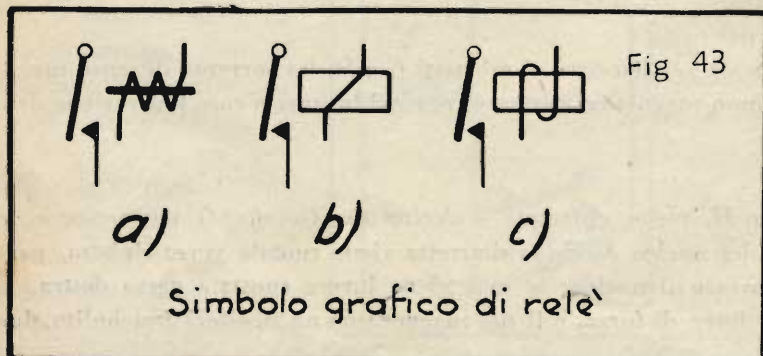
La fig. 41 mostra un tipo assai usato di relè; la fig. 42 rappresenta il medesimo relè in vista. Nella fig. 43 sono riuniti i tre simboli usuali per relè. Tutte e tre le rappresentazioni grafiche sono permesse e hanno il medesimo significato. Negli schemi del Corso di Telecomunicazioni ci atterremo però al simbolo della fig. 43-*a*.

Fig 43

a) b) c)

Simbolo grafico di relè

Relè con uno o più contatti.

Nella fig. 44 è rappresentato un relè con un solo contatto, mentre la fig. 45 rappresenta

un relè con parecchi contatti. Alle volte si richiede da un relè che apra un circuito in un determinato posto e ne chiuda un altro. In questo caso il relè deve essere dotato di un cosiddetto *contatto di scambio*. La fig. 46-*a* mostra chiaramente ciò che si intenda con questo termine: da entrambi i lati della molla di contatto si trova una vite di contatto, alla quale è collegato il rispettivo circuito.

Quando il tasto T è aperto, la corrente proveniente dalla batteria B_2 passa attraverso il contatto di riposo R; in questo caso rimane accesa la lampadina L_1. Chiudendo il tasto T, il relè viene eccitato e si stabilisce il contatto in S; si spegne allora la lampadina L_1, mentre si accende la lampadina L_2. Il dispositivo ora descritto è rappresentato in modo schematicamente corretto nella fig. 46-*b*.

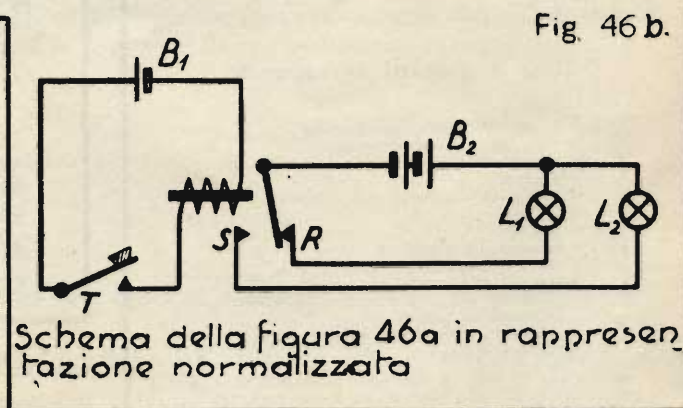
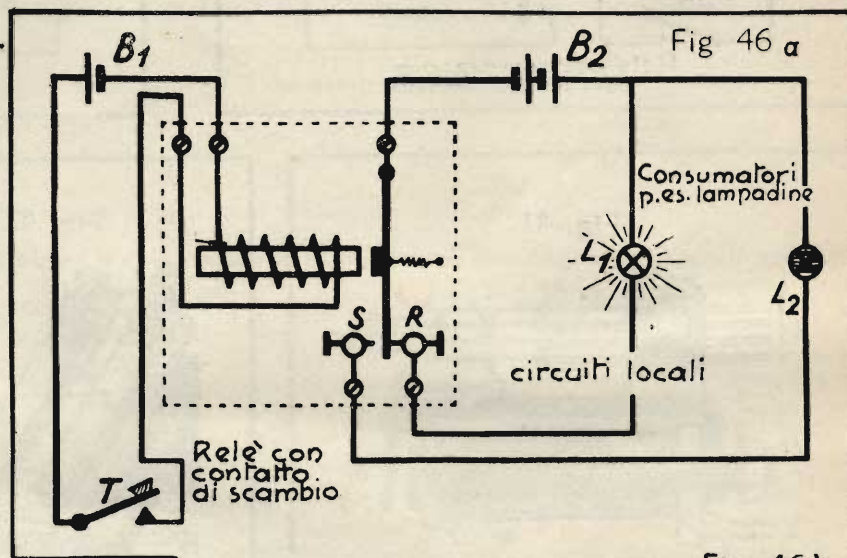
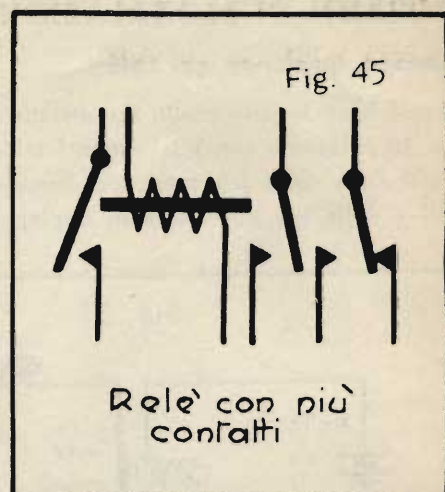
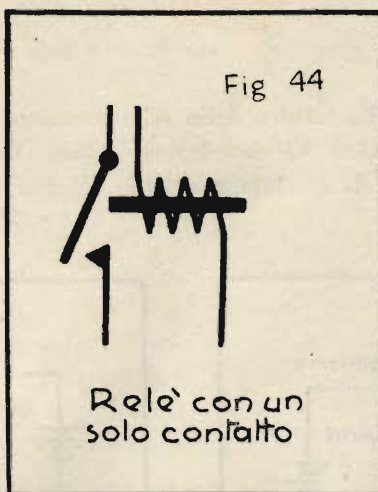
Relè polarizzati.

I *relè polarizzati* sono costruiti con una struttura speciale. Essi funzionano soltanto, quando la corrente circola nell'avvolgimento magnetico in una direzione ben determinata. Nella fig. 47 è rappresentato un tale relè.

Schema della figura 46a in rappresentazione normalizzata

Il nucleo K del relè è fissato ad una gamba di un magnete permanente, dimodochè si magnetizza esso stesso. Non appena la corrente circola nell'avvolgimento, il campo magnetico già esistente viene rinforzato o indebolito, secondo la direzione della corrente. La molla F impedisce l'attrazione dell'ancoretta in assenza di corrente; quando però si invia corrente nell'avvolgimento magnetico del relè, attraverso i punti A e B, e precisamente in direzione tale da rinforzare il campo già esistente della calamita, allora l'ancoretta riesce a superare la tensione della molla F e a chiudere il cosiddetto « circuito locale », allacciato ai morsetti C e D. La corrente di senso inverso provocherebbe invece un indebolimento del campo magnetico esistente, per cui in questo caso l'attrazione dell'ancora è impossibile.

La sbarretta di ferro E, girevole attorno al punto H, viene chiamata « *derivatore* (o *shunt*) *magnetico* », e serve per regolare l'intensità di magnetizzazione del nucleo K. Se la sbarretta viene ruotata verso sinistra, passerà un numero maggiore di linee di forza attraverso il nucleo; se essa viene invece spostata verso destra, il nucleo sarà attraversato da un numero minore di linee di forza, e il suo magnetismo ne risulterà indebolito. In-

fatti in quest'ultimo caso le linee di forza della calamita si chiudono quasi tutte attraverso lo *shunt* (pronuncia « scent ») *magnetico*, e ben poco rimane per il nucleo del relè.

Nella fig. 48 vedete il simbolo di un relè polarizzato. La fig. 49 mostra un esempio di applicazione per relè polarizzati. Si desidera comandare due suonerie W_1 e W_2 a piacimento, servendosi di un'unica linea *M-N* assai lunga, per mezzo di due pulsanti T_1 e T_2. Le suonerie sono inserite nei circuiti locali, in modo da ricevere la corrente attraverso i contatti dei relè polarizzati R_1 ed R_2. Per una data direzione della corrente risponde uno solo dei due relè; invertendo la polarità, risponde l'altro. L'inversione di polarità avviene automaticamente premendo i pulsanti T_1 e T_2.

Relè per correnti forti.

Abbiamo parlato finora soltanto dei relè nei circuiti di corrente debole. Esistono però anche i cosiddetti *teleruttori*; essi si impiegano ovunque si voglia azionare un circuito di corrente forte per mezzo di un circuito di corrente debole. Un relè di questa specie è visibile nella fig. 50.

Quando, premendo il tasto *T*, la corrente debole fornita dalla batteria *B* attraversa l'avvolgimento *W* del relè, l'ancoretta, che ha il fulcro nel punto *C*, viene attratta. Il prolungamento dell'ancora preme contro il supporto di un piccolo bulbo a mercurio, girevole assieme al supporto stesso nel punto *D*.

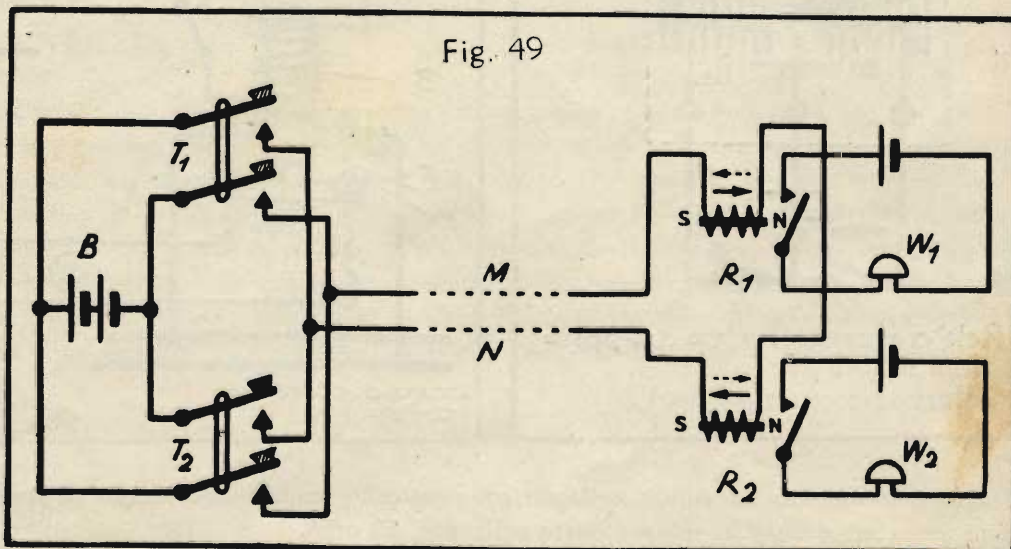
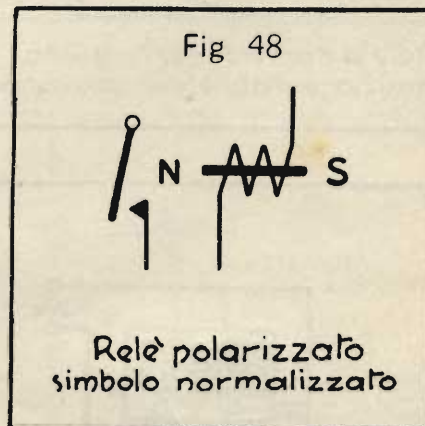
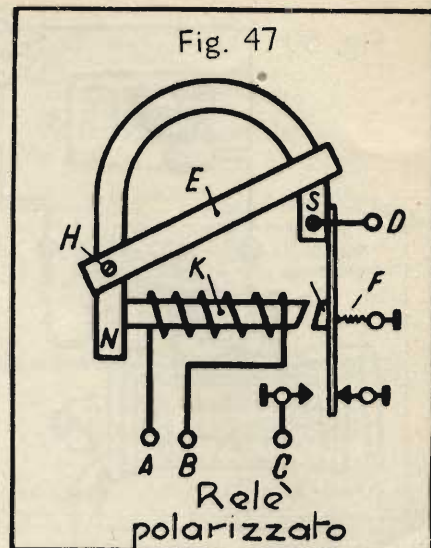
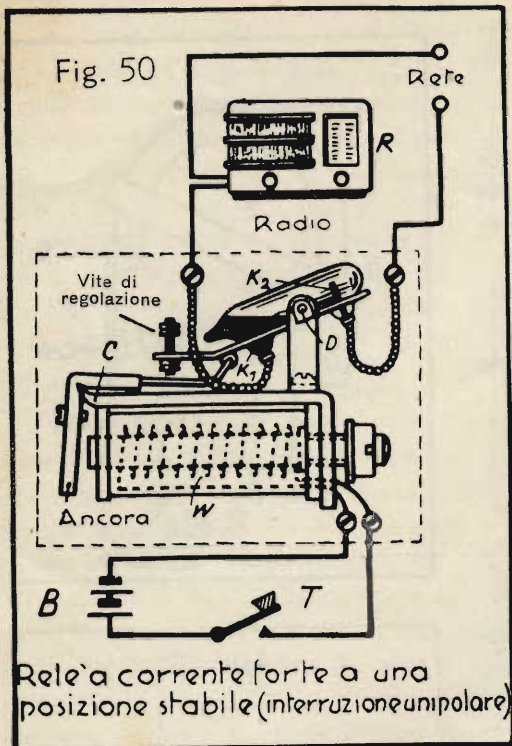
Nella posizione rappresentata nella fig. 50, il mercurio è raccolto nell'interno del bulbo, all'estremità sinistra; dopo l'attrazione dell'ancora il bulbo viene portato in posizione orizzontale, dimodochè il mercurio scorre verso destra e stabilisce il contatto tra le due asticciuole K_1 e K_2, penetranti nel bulbo. Viene in tal modo chiuso il circuito a corrente forte allacciato a questi contatti attraverso conduttori flessibili.

Si può, per esempio, allacciare in *R* una radio, ed è possibile così accenderla e spegnerla a distanza; occorre però mantenere chiuso il contatto *T* durante il funzionamento, affinchè rimanga eccitato l'avvolgimento del relè.

Mediante *due* tasti ed un *relè a mercurio*, di costruzione un po' diversa, si può fare in modo, come è dimostrato nella fig. 51, che la corrente della batteria circoli solo nell'istante della commutazione. In questo caso il relè deve possedere due posizioni stabili. Anche in questo caso il bulbo a mercurio è collegato alla rete di corrente forte attraverso conduttori flessibili.

Il nucleo di ferro *E* è disposto in modo da potersi muovere con facilità, rimanendo succhiato o dalla bobina B_1, o dalla

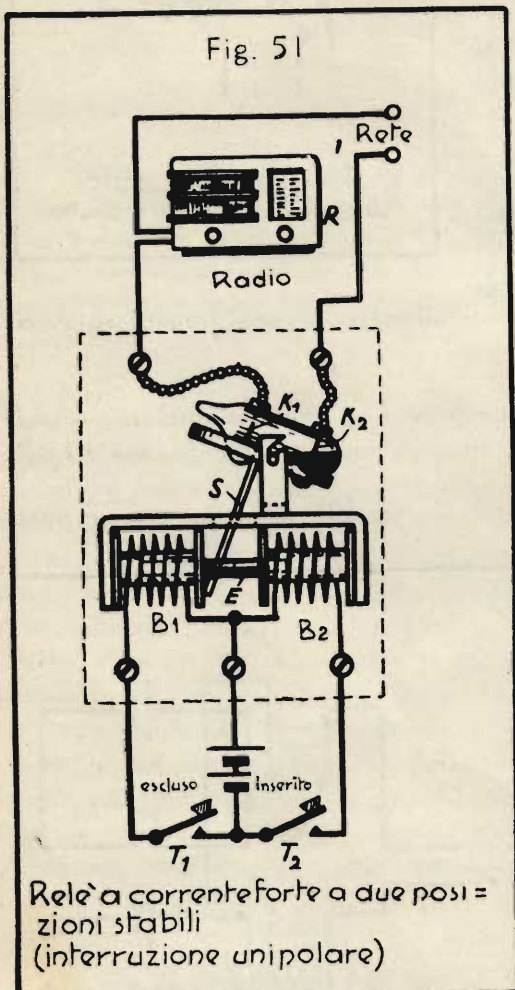
Relè a corrente forte a una posizione stabile (interruzione unipolare)

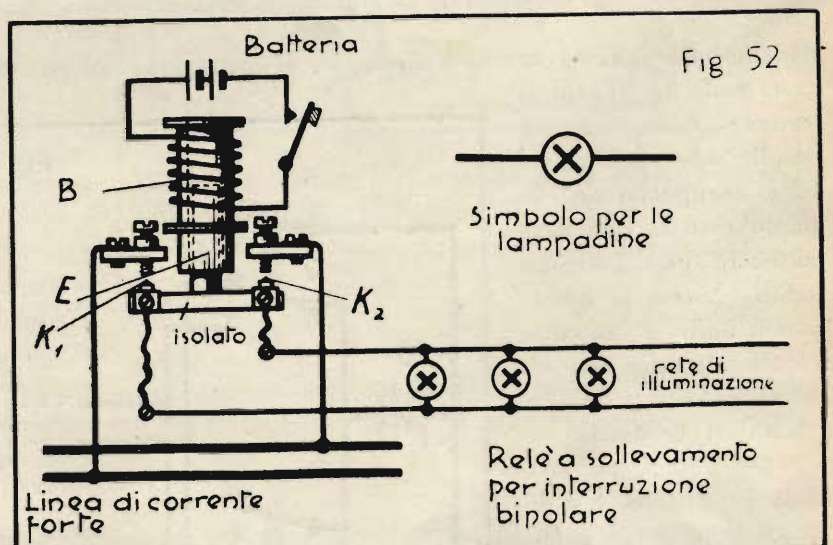
Relè a corrente forte a due posizioni stabili (interruzione unipolare)

B_2. Esso possiede un intaglio, entro il quale penetra la sbarretta S, solidale col supporto del bulbo a mercurio. Quando il nucleo si sposta verso destra, attratto dalla bobina B_2, la sbarretta S ne segue il moto ed il bulbo viene a trovarsi in posizione orizzontale, così che il mercurio in esso contenuto viene a collegare tra loro le due asticciuole di contatto K_1 e K_2.

Si sfrutta anche qui una forza meccanica generata dalla corrente elettrica. Quando la corrente attraversa una bobina, si forma un campo magnetico capace di attrarre entro di sè un nucleo di ferro, purchè questo non sia troppo pesante o, in caso contrario, purchè la corrente sia abbastanza forte.

Premendo il pulsante T_2 la bobina B_2 viene percorsa dalla corrente, per cui il nucleo di ferro E rimane succhiato nella bobina ed i contatti K_1 e K_2 collegati tra loro attraverso il mercurio.

Il ricevitore radio viene messo in funzione in tal modo. Per spegnere la radio basta invece premere sul pulsante T_1. Allora il nucleo E si sposta verso sinistra penetrando nella bobina B_1, ed il mercurio nel bulbo scorre verso destra, interrompendo il collegamendo tra K_1 e K_2, e disinserendo l'apparecchio radio.

Abbiamo descritto due sole possibilità d'inserzione di relè a bulbo di mercurio; naturalmente ne esistono numerose altre, sulle quali non è però il caso di dilungarci.

Nella fig. 52 si vede infine un cosiddetto « *teleruttore a sollevamento* », che permette di interrompere rapidamente, ed in entrambi i poli, un circuito di corrente forte. Chiudendo il circuito di corrente debole, la bobina B attira entro di sè il nucleo di ferro E, chiudendo nel contempo i contatti K_1 e K_2. Un relè di questo genere può essere anche disposto in modo che, in posizione di riposo, i contatti siano chiusi, ed eccitando il relè i collegamenti vengano interrotti (fig. 53). È anche possibile dotare il relè di due paia di contatti. Nell'esempio della fig. 54, un circuito è sempre chiuso. Azionando il relè, un circuito si apre e contemporaneamente si chiude il circuito dell'altro paio di contatti.

Relè a sollevamento per interruzione bipolare

Usando dei conduttori flessibili, collegati col ponticello mobile di contatto, si possono effettuare le commutazioni unipolari e bipolari schematizzate nelle figg. 55 e 56.

Domande

1. In che cosa si distingue un relè polarizzato da uno comune?
2. Che cos'è un teleruttore?
3. È possibile comandare con un unico relè vari circuiti separati l'uno dall'altro? E, in caso affermativo, in che modo?
4. Che differenza passa tra un relè a corrente di lavoro ed uno a corrente di riposo?

Fig. 53

interruzione unipolare

Eccitando il relè il circuito viene aperto

Fig. 54

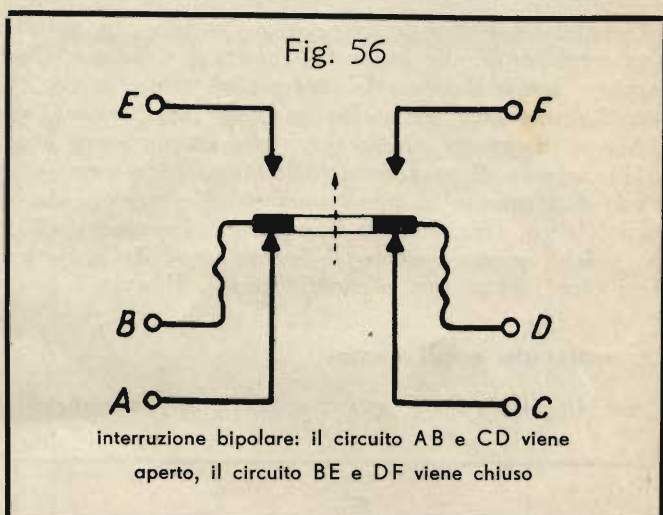
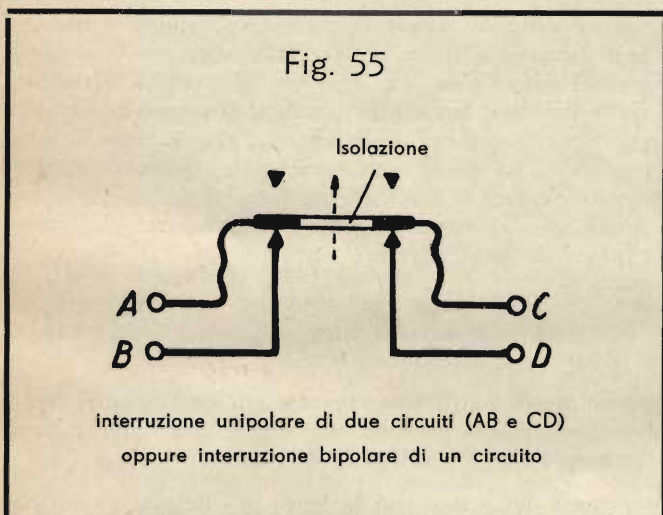
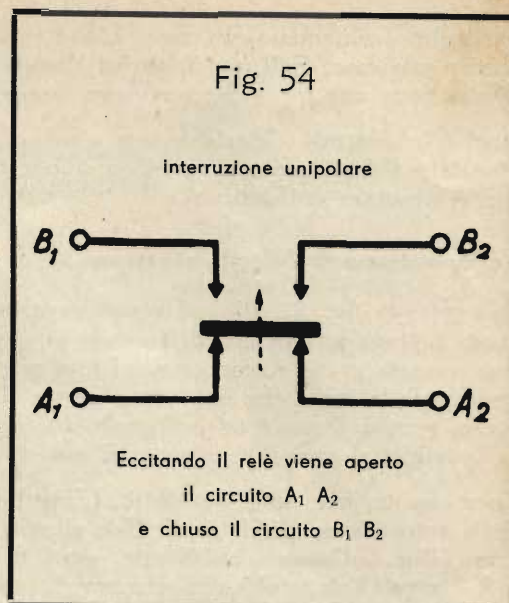
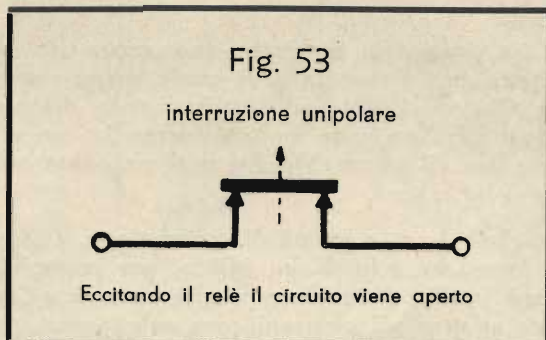
interruzione unipolare

Eccitando il relè viene aperto il circuito A_1 A_2 e chiuso il circuito B_1 B_2

Fig. 55

interruzione unipolare di due circuiti (AB e CD) oppure interruzione bipolare di un circuito

Fig. 56

interruzione bipolare: il circuito AB e CD viene aperto, il circuito BE e DF viene chiuso

LA NATURA DELL'ELETTRICITÀ

In questo Corso avete già appreso molte cose nuove, che avete anche potuto mettere in pratica con profitto. Vi siete occupato di correnti elettriche, capaci di far squillare i campanelli, di accendere le lampade, di produrre dei suoni e perfino di trasmetterli a distanza. Forse vi siete già chiesto che cosa sia questa elettricità, e in quale forma si presenti. Non è una domanda cui sia facile dare una risposta; l'elettricità infatti non si vede e non si può nè toccare nè pesare. « Però », voi direte, « osservando se una lampadina è accesa o spenta, io posso capire se in essa circola la corrente, o no ». In questo avete perfettamente ragione; non solo, ma potete, p.es., anche sentire la forza prodotta dalla corrente elettrica in un elettromotore. Tuttavia, con ciò voi non vedete e non sentite l'elettricità in sè. Sono soltanto gli *effetti* dell'elettricità che si percepiscono, per esempio sotto l'aspetto di *forza* o di *calore*.

L'elettricità non è dunque qualcosa di materiale; essa si manifesta attraverso i suoi effetti.

Gli elettroni, i portatori dell'elettricità

L'elettricità è una forza capace di muovere le *particelle elementari*, che compongono i corpi materiali. Queste

particelle si chiamano elettroni. L'elettricità è come un muratore, che sposta i mattoni e li sovrappone per costruire una casa. Egli non fabbrica i mattoni, non produce alcunchè di materiale; il muratore mette soltanto a disposizione una forza che serve per muovere i mattoni.

Anche le centrali elettriche non producono elettroni: gli elettroni esistono già in qualsiasi corpo, e le centrali elettriche si limitano a spostarli, a spingerli avanti. Sono come un nastro trasportatore, usato in una fabbrica per trasportare dei mattoni.

Lo spostamento degli elettroni

Osservate la fig. 57. C'è, al piano superiore, un uomo che fa girare una grossa ruota dentata. Con questa ruota ingrana una catena di trasmissione, protetta da un involucro, la quale, a sua volta, trasmette il moto ad una seconda ruota e, con essa, ad una macina. Chi sta accanto alla macina, vede che essa gira e lavora. Non vede però la forza che imprime il moto alla macina. Non vede anzi nemmeno la catena che trasmette questa forza, perchè è nascosta dall'involucro che la copre. Bisognerebbe aprire in un punto quest'involucro di lamiera, e allora si vedrebbe almeno il movimento della catena.

Lo stesso avviene per l'elettricità. L'involucro, che copre la catena di trasmissione, è il conduttore; i segmenti della catena sono gli elettroni. Non si vede la forza, ma solo il suo effetto, per esempio, lo splendore di una lampadina. « Come », chiederete, « nei fili, così sottili, c'è qualcosa che si muove? » Certo, sono gli elettroni. « È dunque l'elettricità che si muove? » Niente affatto; gli elettroni sono solo portatori di elettricità: sono i segmenti della catena, che trasportano la forza.

« Dunque come l'acqua che, attraversando una tubazione, va ad azionare una turbina? » No, questo paragone non corrisponde che in parte; infatti il serbatoio d'acqua non fornisce soltanto la pressione, cioè una forza, ma fornisce anche l'acqua; la centrale elettrica, invece, produce soltanto forza, ma non gli elettroni. Altrimenti questi dovrebbero uscire da qualche parte, come l'acqua dalla turbina. Invece... guardate di nuovo la fig. 57: abbiamo disegnato a bella posta una catena senza fine. Quanti sono i segmenti della catena, che entrano in alto nell'involucro di protezione, altrettanti ne escono in ogni momento. La stessa cosa avviene in una centrale elettrica; esattamente lo stesso numero di elettroni, che viene spinto entro la linea da un lato, viene poi succhiato dall'altro. Ora, è facile immaginare i segmenti di una catena, che si muovono entro un involucro di lamiera, poichè questo è vuoto; è invece più difficile capire che qualcosa possa scorrere attraverso dei fili di rame, tutti pieni, senza fori o canali interni. Eppure è proprio così.

Le molecole e gli atomi

Cerchiamo di scoprire questi misteri. Supponiamo di possedere tre lenti di ingrandimento; lenti speciali, che non esistono e non possono esistere, le quali ingrandiscano le cose milioni e miliardi di volte.

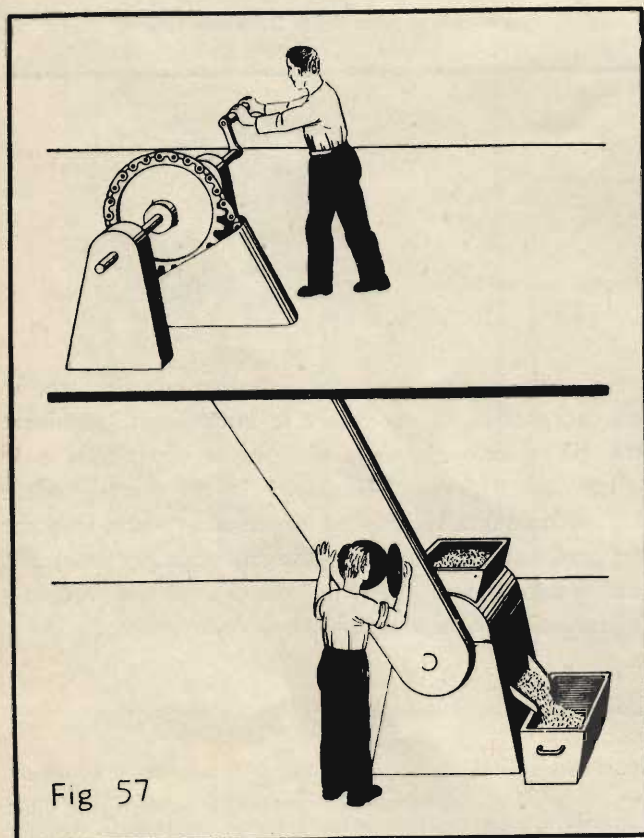



Fig 57

Osserviamo dapprima con la lente più debole un sottile, lucido filo di rame. Saremo certamente stupiti, quasi increduli, poichè vedremo una specie di catena montana di colore rossiccio, tutta vette e burroni, piena di punte e di crepacci. Questo non è l'interno del filo: è soltanto la sua superficie, che ad occhio nudo ci pareva tanto liscia e lucente.

Prendiamo ora la seconda lente, più forte. Che cosa vediamo? « Ma questo non è rame! » — direte con sorpresa.

« Non è un metallo; è come una rete sottile di piccole particelle, tra le quali si trovano degli enormi spazi vuoti, assai più grandi delle particelle stesse! » (fig. 58).

Eppure questo è proprio il filo di rame, e le particelle che vedete sono le sue *molecole*.

La terza lente! Basta uno sguardo per farci strabiliare.

Si vede infatti una gran confusione di corpuscoli, che si agitano, che danzano vorticosamente e balenano in tutte le direzioni. Ci sono come dei piccoli sistemi solari, dei minuscoli soli attorno ai quali ruotano, come tanti pianetini, altri piccolissimi corpuscoli, tracciando delle orbite elittiche, in un folle turbinio. Ognuno di questi sistemi solari, nei quali i veri corpuscoli non occupano che uno spazio inconcepibilmente piccolo, mentre tutto il resto è vuoto, costituisce un *atomo* (fig. 59).

Un atomo è dunque uno spazio quasi vuoto? Com'è possibile che qualcosa di materiale come un metallo, che si può toccare, pesare, foggiare, sia quasi un nulla?

Un conduttore passa direttamente
Cavetto sotto calza tessile
Aperto qui
Qui è scoperta la trecciola
Un singolo filo sotto la lente
Lente

Fig. 58

Per poter comprendere questo fatto, ricorriamo ad un paragone. Prendiamo una sottile asticciuola d'acciaio, infilata attraverso l'estremità superiore di una sbarra verticale più grossa, in modo da sporgere ugualmente da entrambi i lati. La sbarra verticale è girevole, e la facciamo girare dapprima lentamente. Le estremità dell'asticciuola descrivono allora un cerchio. E ora mettiamo una « ringhiera » attorno a questo cerchio: vedrete subito perchè. Facciamo infatti ruotare la sbarra velocemente e sempre più velocemente: cento, mille, diecimila giri al minuto. L'asticciuola d'acciaio a poco a poco diventa invisibile; si scorge soltanto come un leggero velo grigio, un disco grigio trasparente, che ci fa indovinare l'orbita dell'asticciuola. Un disco che sembra un piatto. Possiamo fidarci a posare una palla su questo piatto? Temete forse che la palla caschi attraverso il piatto, perchè non è per l'appunto un vero piatto? Niente affatto; appena la palla cade un pochino, incontra una metà dell'asticciuola e si ferma. Subito dopo si scontra con la seconda metà, poi di nuovo con la prima. Ventimila volte al minuto la palla è ostacolata nel moto di caduta.

Fig. 59

Ed ora venitemi a dire che sotto alla palla non c'è un piatto; che c'è un nulla, con una sottile asticciuola turbinante!

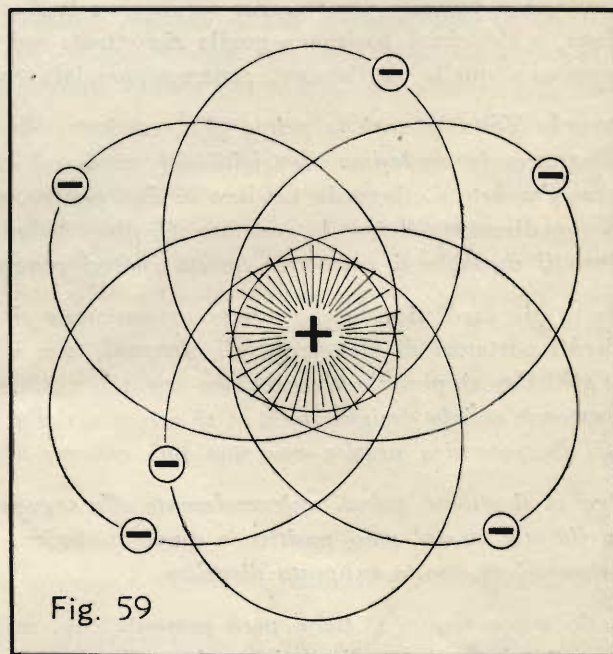
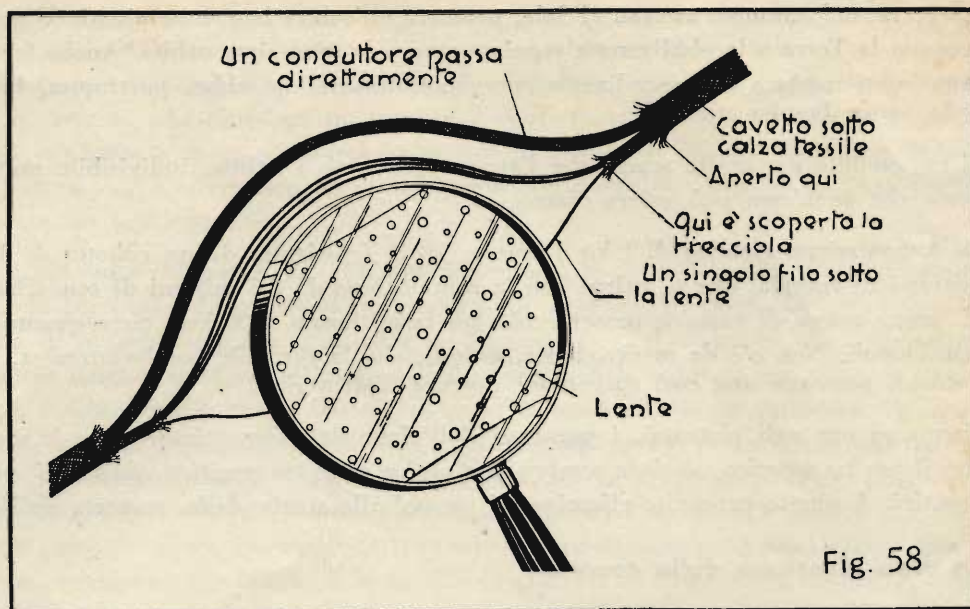
Per la palla, questo vuoto è pieno di materia. Anche voi, alla medesima stregua, non ardireste sporgere rapidamente la mano attraverso un'elica di aeroplano in moto.

I numerosi, rapidi colpi dell'asticciuola spingeranno naturalmente la palla contro la ringhiera, e la faranno circolare più o meno velocemente. Però essa non cadrà mai in basso, fintantochè l'asticciuola ruota a velocità sufficiente.

Vediamo dunque che anche uno spazio vuoto, o quasi vuoto, può parere completamente pieno e impenetrabile, a condizione che il minuscolo *qualche cosa*, ruotante entro di esso, abbia una velocità sufficiente; ciò avviene proprio nel caso dell'atomo, attorno al cui nucleo gli elettroni ruotano a velocità incredibile.

Concludendo: ciò che noi riteniamo un corpo solido, una materia compatta, non è per niente rigido e impenetrabile. Per quanto possa parer strano, è effettivamente così. Se voi limate un pezzetto di rame, ne separate delle minuscole particelle. Se fosse possibile suddividere ancora, e ripetutamente, queste particelle, come vi abbiamo già detto, otterreste alla fine un atomo: un nucleo atomico, attorno al quale ruotano velocissimamente alcuni elettroni, in numero ben determinato. Tutti questi corpuscoli sono di dimensioni così inconcepibilmente piccole, che le stesse distanze tra due atomi contigui, e perfino tra il nucleo e gli elettroni del medesimo atomo, distanze per se stesse piccolissime, sono enormi in confronto delle dimensioni degli elettroni.

Ingrandito smisuratamente, l'atomo assomiglia al nostro sistema solare. Il Sole sarebbe il nucleo atomico, e la Terra uno degli elettroni.

Esiste una strana corrispondenza tra il mondo infinitamente grande delle stelle e quello infinitamente piccolo degli atomi. La nostra Terra, pur così piccina in confronto all'enorme distanza che la separa dal sole, sembra a noi quasi senza limiti. Immaginate quindi l'estrema piccolezza di un elettrone!

La Terra, nel suo moto attorno al Sole, percorre un'orbita ben determinata. Gigantesche sono le forze che trattengono la Terra e la obbligano a seguire sempre la medesima orbita. Anche i corpuscoli costituenti la materia sono legati tra loro da straordinarie energie. L'umanità ne ebbe, purtroppo, la dimostrazione con lo scoppio della prima bomba atomica.

Si era creduto per molto tempo che l'atomo costituisse l'ultima, indivisibile unità della materia, finchè si scoperse che anch'esso può essere disgregato.

La disgregazione atomica di 1 kg d'uranio U 235 (costituito da un cubetto di 3,8 cm di lato) libera la stessa quantità di energia, che si ottiene con la combustione di 2,5 milioni di tonnellate di carbone! Per il trasporto di questa massa di carbone occorrerebbe un treno lungo 2500 km, circa quanto distano tra loro Londra e Costantinopoli. Non c'è da meravigliarsi, quindi, che la terribile bomba atomica, basata sulla disgregazione dell'atomo, possegga una così spaventosa potenza distruttrice!

Torniamo ora agli elettroni, i portatori dell'elettricità, che ci interessano in modo particolare. È stato trovato che *il nucleo atomico possiede sempre una carica elettrica positiva, mentre i suoi satelliti, gli elettroni, sono negativi.* A questo proposito rifacciamoci un po' alla storia della scoperta dell'elettricità.

La vera direzione della corrente

Fin dall'antichità si trovò che, sfregando una bacchetta di vetro ed una di ambra, esse si caricano elettricamente, con polarità diversa. Per distinguere le due specie di elettricità, si chiamò, senza una particolare ragione, « *elettricità positiva* » quella *riscontrata nel vetro*, contrassegnandola col segno « + », ed « *elettricità negativa* » quella dell'*ambra*, contrassegnandola col segno « — » (meno).

Quando Volta inventò la prima pila, costituita da rame e zinco in acido diluito, trovò che la piastra di *rame* presentava *la medesima elettricità del vetro*, ed era quindi *positiva*, mentre la piastra di *zinco* era *negativa* come *l'ambra*. Collegando tra loro le due piastre, si ottiene una corrente. Purtroppo non era possibile stabilire in che direzione fluisse la corrente. Si disse quindi che la corrente doveva « naturalmente » scorrere *dal più verso il meno*, e si mantenne questa *ipotesi convenzionale*.

Molto più tardi si vide che *questa supposizione ritenuta evidente non corrispondeva per niente alla verità.* I piccoli portatori di elettricità, *gli elettroni, non si spostano infatti dal più verso il meno, bensì dal meno verso il più.* Ormai però la convenzione era talmente entrata nell'uso, che non si ebbe il coraggio di cambiarla. *Si mantenne così la designazione, in sè erronea, della polarità*; e ciò si potè fare tanto più facilmente, in quanto *nell'elettrotecnica pratica essa non può causare alcuna seria difficoltà.*

Oggi ci si attiene quindi universalmente alla seguente convenzione: si considera come direzione della corrente quella che va dal polo positivo a quello negativo. Tutte le leggi fondamentali dell'elettricità sono formulate basandosi su questa supposta direzione.

Nello stesso tempo *si tiene però presente che, in verità, la direzione dello spostamento degli elettroni è quella contraria*, e non si dimentica così quella che è la realtà fisica.

Queste cose sono da notare in modo particolare, perchè in una delle prossime Dispense verranno spiegate le funzioni delle *valvole radio*, dette meglio « *tubi elettronici* », e allora tutto questo dovrà esservi ben presente. Specialmente nella radiotecnica è importante ricordare bene quanto segue:

> *Gli elettroni, portatori dell'elettricità, si muovono dal meno verso il più; la corrente elettrica che si osserva, come effetto di tale movimento, viene invece considerata fluente dal più verso il meno.*

La costituzione dell'atomo

Al principio del secolo scorso vigeva la convinzione generale che gli atomi fossero gli estremi e più piccoli elementi costitutivi della materia. Tuttavia le numerose scoperte nel campo dell'elettricità, sopravvenute intorno alla metà del secolo, resero sempre più difficile la possibilità di formarsi un'idea priva di contraddizioni della natura dell'elettricità, conservando l'antica teoria. Finalmente gli scienziati trovarono che anche gli atomi sono, a loro volta, formati da particelle ancor più minuscole.

Come abbiamo testè spiegato, *ogni atomo contiene un nucleo positivo, attorno al quale ruotano degli elettroni negativi.* Per quanto riguarda il *nucleo*, vi diremo solo brevemente che esso è *composto da protoni e neutroni. I protoni sono particelle positive; i neutroni sono invece elettricamente neutri.*

Tutti i protoni, tutti i neutroni e tutti gli elettroni sono uguali tra loro. Ma allora sono uguali tra loro anche tutti gli atomi? E come si spiegano le differenze, che esistono tra i vari elementi della materia, p. es., tra il rame ed il ferro, tra l'oro e il carbone? *Tutto dipende dal numero di particelle di cui è composto l'atomo,* e particolarmente *dal numero di protoni, che risiedono nel nucleo, e di elettroni che ruotano attorno ad esso.* Le differenze sono tutte qui, ma ciò basta a spiegare la grande varietà delle sostanze esistenti in natura. *Il nucleo dell'atomo d'idrogeno,* per esempio, *è circondato da un solo elettrone*; il nucleo d'elio ne ha due; quello d'ossigeno, otto, e infine l'argento ne possiede 47.

Vi ricordate delle nostre spiegazioni sulle calamite? Vi abbiamo spiegato che *i poli uguali si respingono, quelli opposti si attirano. Anche le particelle elementari si comportano in modo simile.* Quelle di carica uguale si respingono, mentre le cariche di polarità opposta si attraggono. È questa forza d'attrazione che tiene legati gli elettroni al nucleo. Questa forza non si manifesta all'esterno dell'atomo, poichè ogni carica positiva, localizzata in un protone del nucleo, è bilanciata da un'uguale carica negativa, costituita da un elettrone. Pertanto *l'atomo completo è elettricamente neutro.* I protoni, i neutroni e gli elettroni, però, non sono le sole particelle elementari della materia. La scienza atomica moderna ha scoperto, p. es., anche gli *elettroni positivi,* i cosiddetti « *positroni* ». Esistono inoltre anche degli *elettroni pesanti,* i cosiddetti « *mesoni* », e poi c'è il « *neutrino* », il più piccolo corpuscolo privo di carica elettrica. Tutti questi corpuscoli sono però assai rari, e per i nostri scopi non occorre che ce ne occupiamo. Comunque è certo che *la quantità di gran lunga maggiore della materia è costituita da elettroni e nuclei atomici.*

Abbiamo rinunciato, per questo Capitolo, a proporvi degli esercizi, essendo nostro intendimento di fornirvi solo un orientamento generale sulla costituzione della materia e dell'elettricità. Abbiamo intravisto alcune meravigliose leggi della natura, che ci riempiono di profondo rispetto, quanto più riusciamo a penetrare in esse, e che, nello stesso tempo, ci incutono spavento, al pensiero dell'uso o piuttosto dell'abuso che ne potrebbe fare la scienza umana... Intendiamo riferirci al grave problema degli armamenti atomici. Tornando però alle nozioni più innocue, che ci interessano come radiotecnici, la cosa fondamentale da ricordare è che l'elettricità non è nulla di materiale, e che la più piccola carica elettrica negativa viene trasportata dagli elettroni. Quando gli elettroni si mettono a scorrere in una determinata direzione, abbandonando l'atomo di cui facevano parte, si dice che circola una corrente elettrica, riconoscibile dai suoi effetti. Continueremo queste spiegazioni nella prossima Dispensa.

Ripensate in qualche ora tranquilla a quanto vi abbiamo esposto in questo Capitolo. Queste nuove nozioni vi serviranno presto per comprendere alcuni argomenti di grande importanza ed interesse, per esempio le *valvole termonioniche,* ausilio indispensabile della radiotecnica.

Risposte alle domande di pag. 23

1. Il relè polarizzato funziona solo, quando è percorso da corrente continua di determinata direzione.

2. Un teleruttore è un relè comandato da corrente debole, mediante il quale si può aprire o chiudere uno o più circuiti a corrente forte.

3. È possibile comandare vari circuiti, elettricamente separati, mediante un unico relè, quando questo è dotato di parecchie mollette di contatto, oppure di parecchi bulbi a mercurio.

4. I due tipi di relè hanno entrambi il contatto di utilizzazione aperto in condizione di riposo, e chiuso quando viene azionato il tasto di comando. Nel relè a corrente di lavoro, però, l'avvolgimento è normalmente privo di corrente; solo chiudendo il tasto di comando il relè viene eccitato, per cui rimane attratta l'ancoretta e chiuso il contatto di utilizzazione. Il relè a corrente di riposo è invece costantemente percorso dalla corrente; questa è interrotta solo nell'istante in cui viene azionato il tasto di comando. Allora l'ancoretta rimane abbandonata, e l'azione di una molla provoca la chiusura del contatto di utilizzazione (vedi figg. 39 e 40).

COMPITI

1. Calcolare l'induttanza di una bobina in H e mH. La lunghezza della bobina è l = 14 cm ed il suo diametro D = 7 cm. Per cm di lunghezza si hanno w_1 = 150 spire.

2. Qual è l'unità di misura della capacità?

3. Qual è il comportamento dei condensatori nei confronti della corrente continua e della alternata?

4. Un condensatore della capacità C_1 = 4 μF è collegato in serie con un altro condensatore della capacità C_2 = 6 μF. Qual è il valore della capacità complessiva?

5. Due condensatori C_1 = 4 μF e C_2 = 12 μF, sono collegati in parallelo. Qual è la capacità complessiva?

6. Qual è la capacità in F e in pF di un condensatore composto da 10 piastre, ciascuna della superficie A = 90 cm², e poste alla distanza d = 1 mm tra loro? Il dielettrico è l'aria.

7. In qual caso è consigliabile l'adozione di un relè per un impianto di suoneria?

8. a) $(5 - 3) \cdot 10 = ?$ b) $4a \cdot (3a - 2b) = ?$
   c) $(2x - y) \cdot -4x = ?$ d) $(a + b) \cdot (a - b) = ?$

9. $4ab + 2ac$
   È possibile estrarre qualche fattore comune dall'espressione sopra riportata? In caso affermativo, trasformate l'espressione, facendo precedere la parentesi da tutti i fattori comuni, che è possibile estrarre.

Tabella N. 3

Materiale	Costante dielettrica ε
Aria	1
Paraffina	2,1
Trolitul	2,2
Gommalacca	2,6
Ebanite	3,0
Quarzo	4,7
Calite	6,5
Mica	7,0
Tempa N	12,5
Tempa S	14
Condensa N	40,0
Condensa C	80,0

FORMULE CONTENUTE NELLA DISPENSA N. 7

Formula

(16) Induttanza: $L \approx k \cdot w_1^2 \cdot D^2 \cdot l \cdot 10^{-8}$ (H) . . . . . . Pag. 3

(17) Capacità complessiva nel collegamento in parallelo di condensatori: $C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$ . . . . „ 13

(18) Capacità complessiva nel collegamento in serie di condensatori: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$ . . . . „ 13

(19) Conduttività dielettrica $\Delta = \varepsilon \cdot \Delta_0$ . . . . „ 16

(20) Capacità di un condensatore semplice: $C = \frac{\Delta \cdot A}{d}$ . . . . „ 17

TABELLE CONTENUTE NELLA DISPENSA N. 7

Tabella

(3) Costante dielettrica ε per materiali usati come dielettrici per condensatori . . . . Pag. 28

DISPENSA N°. 8

CORSO DI TECNICA DELLE

TELECOMUNICAZIONI

IN PARTICOLARE DI RADIOTECNICA

ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA

INDICE DELLE MATERIE DELLA DISPENSA N. 8

Riassunto della materia trattata nella Dispensa precedente . Pag. 1

Acustica ed elettroacustica . . . . „ 1
Altoparlanti magnetici . . . . „ 1
L'altoparlante a megafono . . . . „ 1
L'altoparlante a superficie vibrante estesa . . . . . . „ 2
Altoparlanti a due e a quattro poli . . . . „ 3
Il sistema ad oscillazione libera . . . . „ 3
Altoparlanti dinamici . . . . „ 4
Gli altoparlanti elettrodinamici . . . . „ 4
Il magnete a vaso . . . . „ 5
Domande . . . . „ 6

Matematica . . . . „ 7
3. Le equazioni (continuazione) . . . . „ 7
Applicazione delle equazioni . . . . „ 7

Tecnica delle misure . . . . „ 9
Gli strumenti a bobina mobile . . . . „ 9
Strumenti a bobina mobile per la misura della tensione . . „ 9
L'allargamento del campo di misura nei voltmetri . . . „ 9
L'allargamento del campo di misura negli amperometri . . „ 11
Strumenti universali (strumenti multipli) . . . . . . „ 13
Il galvanoscopio ed il galvanometro ad ago . . . . . „ 15
Il galvanometro a specchio . . . . „ 16
Domande . . . . „ 18

Impianti telegrafici . . . . „ 18
Apparecchiature per la telegrafia Morse . . . . „ 18
Il ricevitore acustico battente . . . . „ 18
Il complesso Morse . . . . „ 19
Protezione contro le sovratensioni negli impianti telegrafici . . „ 20
Valvole fusibili . . . . „ 21
I fusibili a cartuccia . . . . „ 23
I fusibili a tempo . . . . „ 23
Domande . . . . „ 23

Matematica . . . . „ 24
11. L'estrazione delle radici (continuazione) . . . . . . „ 24
La radice quadrata . . . . „ 24

La natura dell'elettricità . . . . „ 25
Le particelle costitutive della materia . . . . „ 25
Gli elettroni liberi . . . . „ 26
Moto degli elettroni sotto l'influenza di una sorgente di tensione . . . . „ 26
Conduttori e non conduttori dell'elettricità . . . . . „ 27
La produzione elettrica di calore spiegata con la teoria degli elettroni . . . . „ 27

Compiti . . . . „ 28

C O R S O   D I   T E C N I C A   D E L L E
TELECOMUNICAZIONI - RADIO
A CURA DELL'ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA | **Dispensa N. 8**

RIASSUNTO DELLA MATERIA TRATTATA NELLA DISPENSA PRECEDENTE

Dopo aver spiegato nella Dispensa N. 6 il concetto dell'autoinduzione e dell'induttanza, vi abbiamo spiegato nella Dispensa N. 7 il particolare comportamento di una bobina d'induzione, a seconda che venga percorsa dalla corrente continua o da quella alternata.

Vi abbiamo quindi illustrato i fenomeni che avvengono nella carica e nella scarica dei condensatori, mettendo in evidenza le formule per il collegamento in serie ed in parallelo, e cioè:

Parallelo: $C = C_1 + C_2 + C_3 + \ldots$ $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \ldots$ Serie: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots$ $L = L_1 + L_2 + L_3 + \ldots$

L'unità di misura della capacità è il farad (F), usato generalmente nei suoi sottomultipli microfarad (μF) e picofarad (pF).

Nel Capitolo sugli « Impianti di segnalazione » abbiamo trattato nuovamente dei relè, e ne abbiamo spiegato l'applicazione negli impianti di suoneria e per segnalazioni analoghe.

Nel Capitolo di « Matematica » vi abbiamo dimostrato l'importanza delle parentesi ed il loro uso.

Per ultimo ci siamo occupati dei portatori dell'elettricità: gli elettroni. Abbiamo dato un rapido sguardo al mondo meraviglioso e immensamente piccolo dell'atomo e del suo nucleo, circondato dagli elettroni come il Sole dai suoi pianeti.

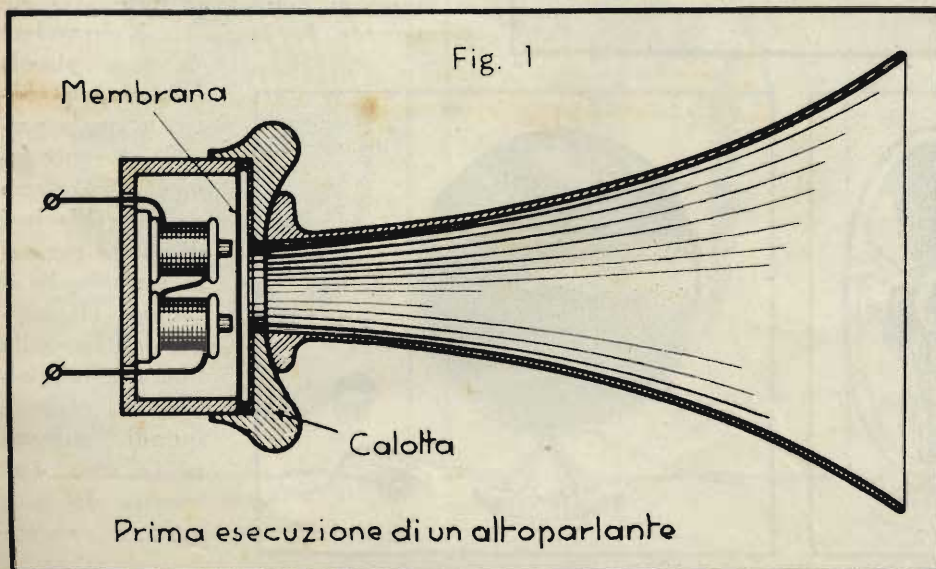
ACUSTICA ED ELETTROACUSTICA

Altoparlanti magnetici

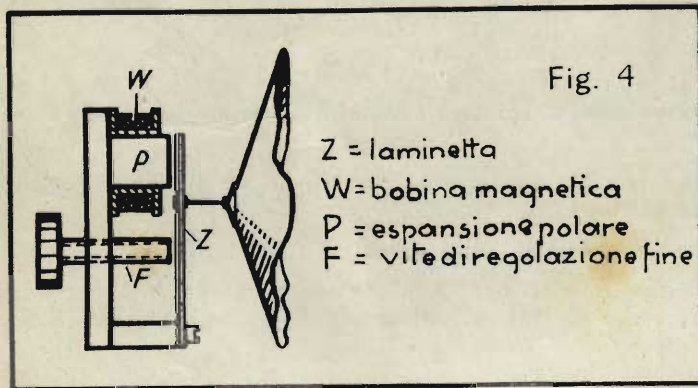
L'altoparlante a megafono.

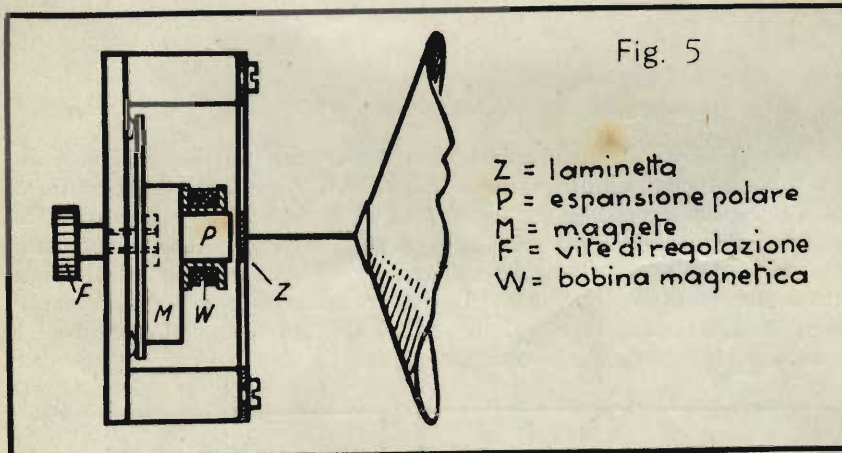
I primi altoparlanti non erano in fondo altro che l'unione di un ricevitore telefonico con un dispositivo a imbuto (megàfono). Si otteneva in questo modo una discreta amplificazione del suono. Agli inizi della radio si usava, per esempio, un altoparlante come quello rappresentato schematicamente nella fig. 1, e costituito da un ricevitore telefonico munito di tromba a imbuto. Più tardi si ottenne un notevole miglioramento disponendo una membrana relativamente grande nello zoccolo dell'altoparlante, e rinforzando il sistema magnetico (figura 2). In tal modo si rese possibile un'intensità sonora molto maggiore. Il sistema magnetico era generalmente spostabile, nel senso che, per mezzo di una piccola leva situata sul piede dell'altoparlante, esso si poteva avvicinare o allontanare dalla membrana, regolando in tal modo l'intensità del suono.

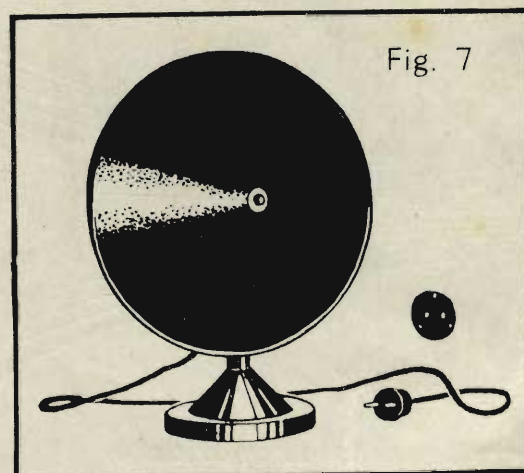
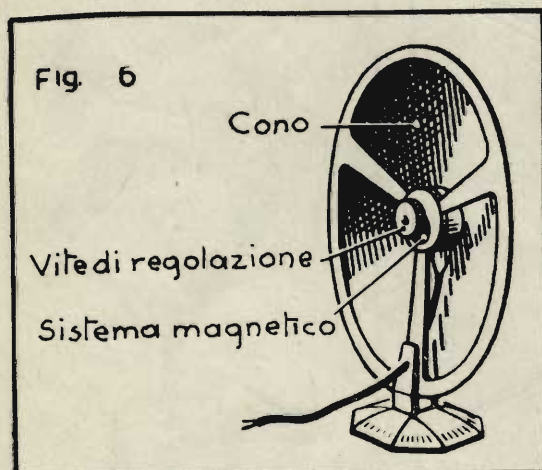
Fig. 1
Prima esecuzione di un altoparlante

Fig. 2

L'altoparlante a superficie vibrante estesa.

L'aumento di intensità sonora così ottenuto non corrispose però minimamente ad un miglioramento della qualità del suono. Le tonalità medie risultavano relativamente forti, ma le note acute e basse erano piuttosto deboli. La membrana non era dunque in grado di seguire fedelmente le vibrazioni particolarmente rapide, nè quelle più lente, della parola e della musica. Si passò quindi a separare la membrana, che determina l'effettiva emissione del suono, dalla parte mobile del sistema magnetico (fig. 3).

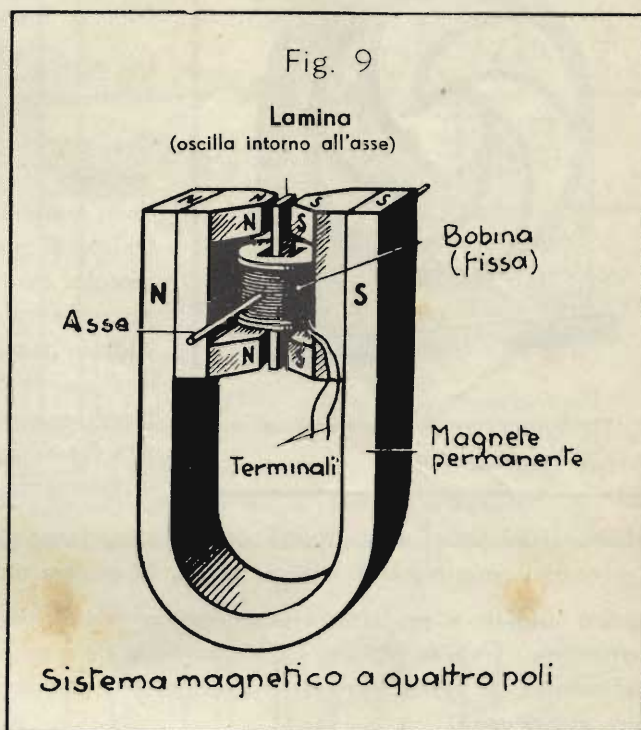
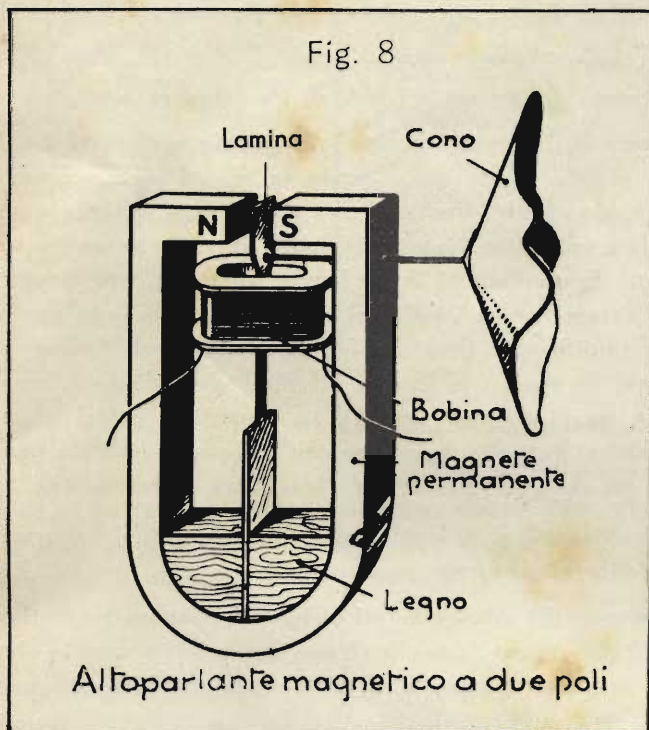
I primi altoparlanti, costruiti secondo questo punto di vista, erano dotati di una laminetta di ferro, fissata ad una estremità, e con l'altra libera di vibrare davanti all'elettromagnete. Alla laminetta era fissata un'asticciuola, collegata con la punta di un cono di carta, di qualità speciale o di materiale isolante « pertinax », cono che costituiva la membrana vibrante. Durante il funzionamento la membrana era costretta dall'asticciuola ad oscillare ed imprimeva le medesime vibrazioni all'aria circostante, emettendo perciò i suoni.

La fig. 4 mostra la sezione di un altoparlante di questo genere. Una notevole miglioria si ottenne fissando la lamina ad entrambe le estremità (figura 5). La laminetta è costituita in questo caso da una strisciuola di ferro dolce. Per mezzo della vite *F* è possibile spostare l'espansione polare *P* del magnete *M*, in modo da avvicinarla più o meno alla laminetta.

Le dimensioni delle membrane coniche si aggiravano tra i 150 ed i 400 mm di diametro. Il cono era fissato elasticamente per mezzo di un anello di cuoio incollato lungo l'orlo.

La fig. 6 mostra la vista posteriore di uno di questi altoparlanti *a superficie vibrante estesa*. Nella fig. 7 si vede il medesimo altoparlante di fronte. Come risulta dalle due figure, la posizione del cono rispetto al sistema magnetico è l'opposta di quella delle figg. 4 e 5.

Nella fig. 8 è rappresentato schematicamente un sistema magnetico ulteriormente perfezionato. C'è anche qui una laminetta fissata ad un'estremità. L'altra estremità però è libera di oscillare in mezzo ai poli di un forte magnete permanente. La laminetta è circondata da una piccola bobina fissa, entro la quale passa la *corrente fonica*. Nel ritmo delle oscillazioni di questa corrente varia anche il campo magnetico, all'estremità libera della lamina, la quale è quindi attratta più o meno fortemente dal polo nord e respinta

più o meno fortemente dal polo sud della calamita. È facile comprendere che la lamina seguirà così, fedelmente, le oscillazioni della corrente fonica.

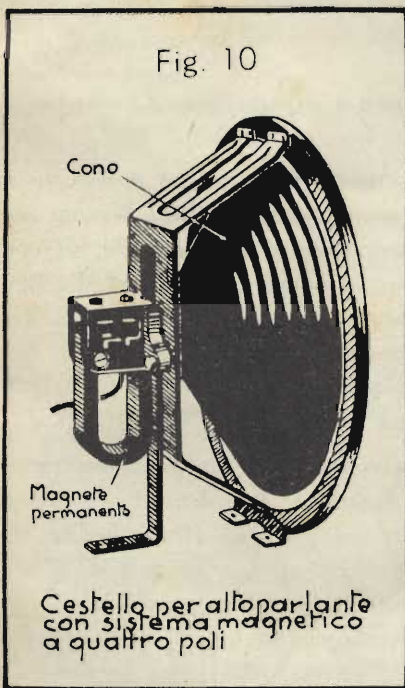
Anche in questo caso il movimento della laminetta è trasmesso mediante una piccola asticciuola al cono dell'altoparlante.

Altoparlante magnetico a due poli

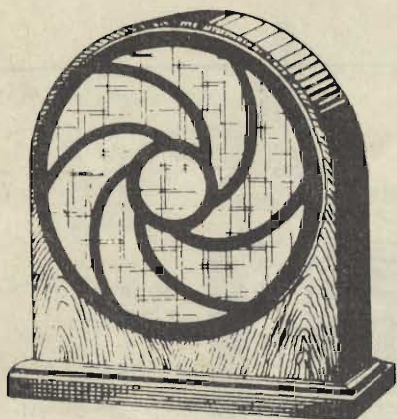
Sistema magnetico a quattro poli

Altoparlanti a due e a quattro poli.

Gli altoparlanti costruiti nel modo ora descritto si chiamano *a due poli*, poichè la laminetta è soggetta all'azione di due poli magnetici. Un ulteriore miglioramento si ebbe con i cosiddetti altoparlanti *a quattro poli*, la cui struttura è illustrata nella figura 9. In questo tipo la lamina è libera di muoversi tra due paia di poli di una calamita, oscillando attorno ad un asse centrale. Anche in questo tipo essa è circondata dalla piccola bobina percorsa dalla corrente fonica. La forza elettromagnetica agisce qui però su tutt'e due le estremità della lamina, e ne risulta pertanto una maggiore potenza del sistema ed un'intensità superiore delle vibrazioni sonore emesse dalla membrana. La fig. 10 mostra un esempio di questo tipo di altoparlante.

Cestello per altoparlante con sistema magnetico a quattro poli

Sistema a oscillazione libera

Il sistema a oscillazione libera.

Il progresso nella costruzione degli altoparlanti portò quindi alla fabbricazione del cosiddetto *sistema a oscillazione libera*, che viene usato anche oggi, almeno nella variante costruita secondo il cosiddetto *principio elettrodinamico*.

Fig. 12

Forma antiquata di altoparlante con custodia

Oltre al *tipo elettromagnetico*, a cui appartengono gli altoparlanti ora descritti, esiste infatti anche il *sistema elettrodinamico*, di cui parleremo tra breve.

Prima però spiegheremo succintamente il principio costruttivo del *sistema a oscillazione libera*, servendoci a questo scopo della fig. 11.

Gli altoparlanti finora descritti presentavano tutti il difetto di avere la laminetta vibrante situata entro i poli di un magnete permanente.

Ora, *per rinforzare il campo magnetico è necessario avvicinare i poli tra loro il più possibile. In questo modo la libertà di movimento della laminetta rimane molto limitata*; essa può seguire soltanto oscillazioni di piccola ampiezza e l'intensità sonora deve essere mantenuta piccola. Se infatti le oscillazioni della lamina diventano troppo ampie, essa va ad urtare contro i poli del magnete, provocando un fastidioso rumore tintinnante. Questo difetto è evitato nel *sistema ad oscillazione libera*, in quanto *la lamina vibrante viene disposta sopra i poli anzichè in mezzo ad essi* (fig. 11). Le espansioni polari hanno una forma appuntita, in modo da evitare che il flusso magnetico passi direttamente da un polo all'altro senza attraversare la laminetta.

All'epoca dei primi altoparlanti, questi erano montati entro custodie di legno o di materia plastica, seguendo il gusto dei compratori di allora; la fig. 12 mostra una delle prime forme costruttive.

Furono studiate a suo tempo numerose soluzioni, per ottenere dei sistemi dotati di intensità sonora particolarmente forte: tra esse citiamo gli *altoparlanti a nastro* e *a foglio sonoro*, tipi che sfruttavano già il principio elettrodinamico. Si tratta però di tipi ormai completamente sorpassati, per cui è inutile dedicare ad essi maggiore attenzione.

ALTOPARLANTI DINAMICI

Gli altoparlanti elettrodinamici

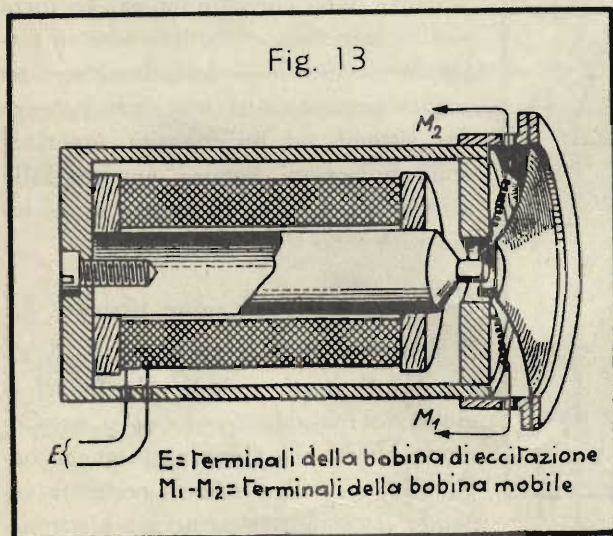
Un progresso essenziale nella costruzione degli altoparlanti si ebbe soltanto con l'introduzione del sistema *elettrodinamico*.

Diciamo appositamente *introduzione*, perchè il sistema in sè esisteva già da molto tempo. Fin dal 1877 Werner von Siemens aveva costruito un *telefono alto-parlante*, di concezione identica agli attuali *altoparlanti dinamici*. La figura 13 mostra una sezione di tale apparecchio. Nel 1889 questo altoparlante venne fatto conoscere pubblicamente a Berlino, ma poi cadde in dimenticanza, finchè dopo molti anni non ci si ricordò della sua esistenza.

Fig. 13

A titolo di confronto mostriamo nella fig. 14 la sezione di un moderno *altoparlante dinamico*; è evidente la corrispondenza dei due sistemi fin nei più piccoli particolari. La denominazione degli altoparlanti *elettrodinamici*, detti brevemente anche *dinamici*, deriva dal loro principio di funzionamento. Infatti la membrana di questi altoparlanti è sottoposta a vibrazioni per effetto della forza agente sulla corrente elettrica (*effetto dinamico della corrente*, ossia *effetto elettrodinamico*).

Come già sapete, un conduttore percorso da corrente e giacente in un campo magnetico è soggetto ad una for-

za. (Vedi Dispensa N. 4).

Così, per esempio, *il conduttore* della fig. 15, *giacente tra i poli di una calamita, è deviato verso l'alto quando la corrente fluisce in una determinata direzione; invertendo la direzione della corrente, il conduttore viene deviato verso il basso.*

Il medesimo effetto è *sfruttato nell'altoparlante elettrodinamico*, nel quale le *correnti foniche* circolano in una piccola bobina, giacente nel campo di un potente elettromagnete e sospesa in modo da potersi muovere con facilità nella direzione del suo asse di simmetria. Questa bobina è chiaramente visibile nelle figure 13 e 14; i suoi fili d'allacciamento sono contrassegnati con le lettere M_1 e M_2. Il campo magnetico è generato da un potente elettromagnete, la cui bobina è alimentata attraverso i propri terminali fuoruscenti, *E*. Il magnete ha forma di *vaso*.

Il magnete a vaso.

La fig. 16 mette in evidenza la struttura del *magnete a vaso*. Nella fig. 16-*a* si vede una comune calamita a ferro di cavallo; le linee di forza si dipartono dal polo nord dirigendosi verso il polo sud. Esse devono superare un tratto d'aria relativamente lungo, e quindi il campo magnetico non può essere molto intenso.

Nella fig. 16-*b* invece una gamba della calamita a ferro di cavallo è prolungata in modo da lasciare tra i poli solo una piccola distanza, ossia uno stretto *traferro*, come si dice in termine tecnico.

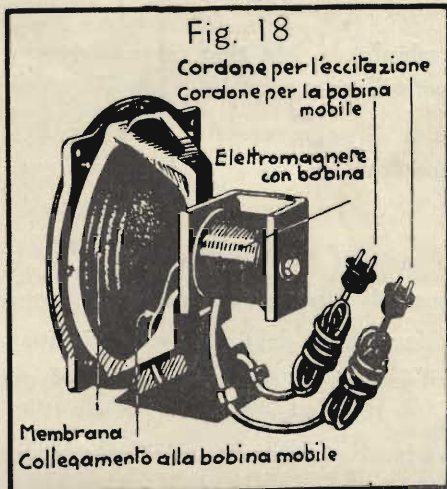
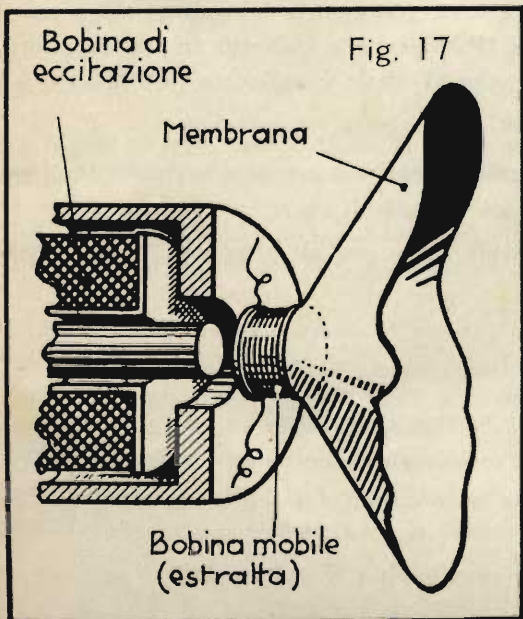
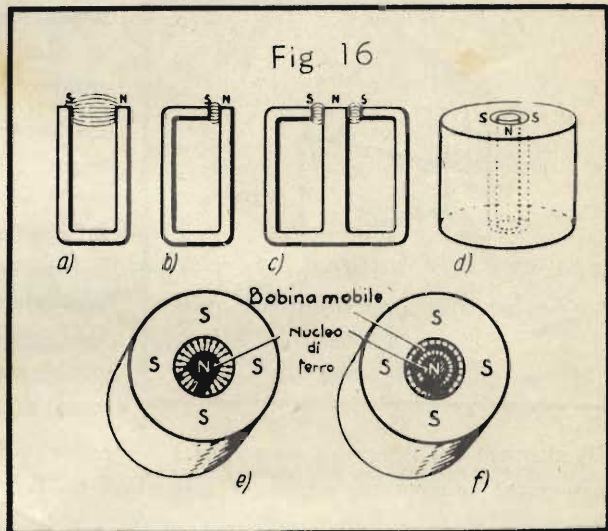
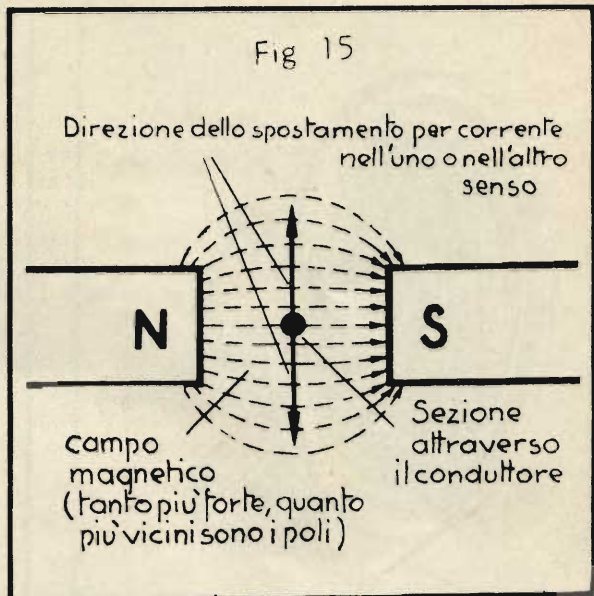
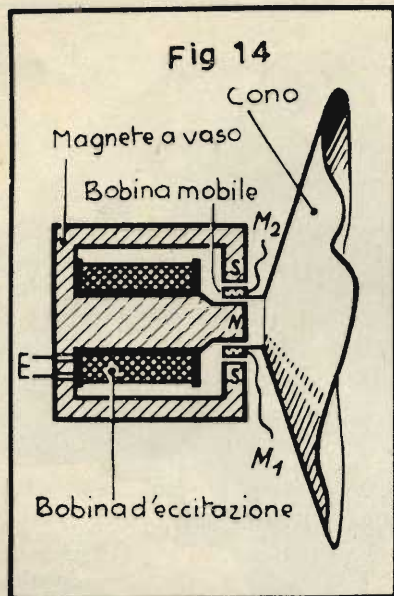
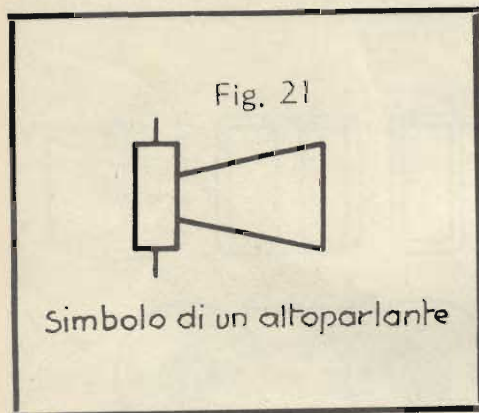
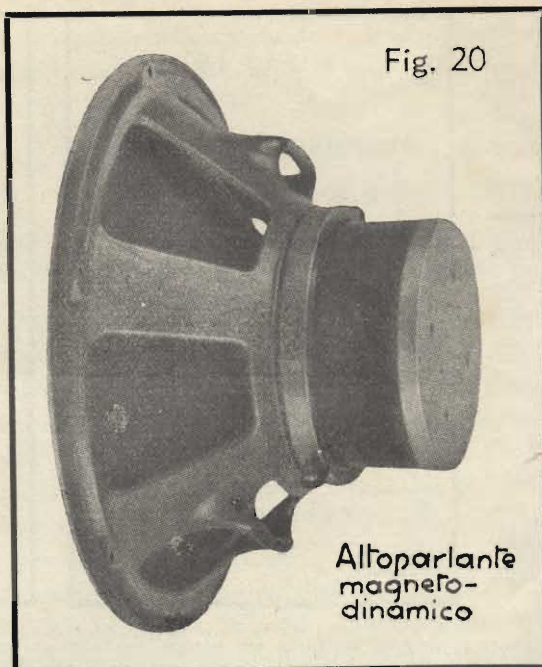
In questo modo si riesce a concentrare le linee di forza nel traferro e a rinforzarvi quindi il campo. Se al magnete si dà la forma della fig. 16-*c*, con una struttura *a tre gambe*, si ha *un polo nord centrale a due poli sud laterali e si ottiene un campo intenso in entrambi i traferri.*

Infine si può costruire il magnete anche secondo la fig. 16-*d*. Si ha qui *un cilindro pieno di ferro, costituente il polo nord, fissato concentricamente entro una scatola rotonda di ferro. Il « coperchio » della scatola costituisce in questo caso il polo sud.* Si ottiene così, tra il polo nord ed il polo sud, un traferro circolare relativamente stretto.

Dapprima furono usati quasi esclusivamente degli elettromagneti, ma poi si riuscì a fabbricare dei magneti permanenti abbastanza potenti.

Nel primo tipo, il polo cilindrico situato nel centro del vaso magnetico è

Cestello di un moderno altoparlante elettrodinamico

Altoparlante magneto-dinamico

circondato da una grossa bobina, la cosiddetta *bobina di eccitazione*, che si distingue chiaramente nelle figure 13 e 14.

Essa è percorsa da un'intensa corrente, la quale genera nel traferro, un campo magnetico (indicato nella figura 16-*e*). Nella figura 16-*f*, infine, si distingue sotto forma di un anellino nero la bobinetta immersa nel traferro, la cosiddetta *bobina mobile* o *bobina dinamica.* Essa è attraversata naturalmente dalle linee di forza del campo magnetico esistente nel traferro.

Simbolo di un altoparlante

La bobina mobile è fissata alla membrana dell'altoparlante. Nella figura 17 la bobina mobile è disegnata estratta dal traferro, per mostrare meglio le varie parti del sistema. *Il traferro cilindrico è largo in pratica al massimo da 1,0 a 1,5 mm.* È necessario quindi che la bobina mobile sia guidata con molta precisione o, come si dice tecnicamente, sia bene *centrata.* Questa centratura costituisce anche il solo fissaggio della bobina, che le impedisce di uscire dal traferro. Questo problema è stato risolto in vari modi, dei quali tratteremo in una successiva Dispensa.

Gli altoparlanti dinamici sono oggi i dispositivi più perfetti per la riproduzione del suono. In esecuzione appropriata, consentono anche la riproduzione fedele di forti intensità sonore.

Nella fig. 18 è rappresentata una delle prime esecuzioni di altoparlante dinamico. Qui non è ancora usato il vaso magnetico, ma un elettromagnete a ferro di cavallo. I due cordoni servono uno per portare la corrente d'eccitazione alla bobina dell'elettromagnete, l'altro per l'adduzione della corrente fonica alla bobina mobile. Nella fig. 19 è rappresentato un tipo nel quale è usato un magnete a vaso. Nel centro del cono si riconosce il polo centrale cilindrico del magnete a vaso. Alla parte superiore dell'altoparlante è fissato un trasformatore, che serve ad *adattare* meglio l'altoparlante, p. es., all'apparecchio radio al quale è collegato.

Attualmente quasi tutti i buoni altoparlanti dinamici vengono muniti di *magnete permanente.*

La fig. 20 mostra un altoparlante di tale tipo, che si chiama appunto *dinamico a magnete permanente* oppure anche *altoparlante magnetodinamico.*

Il simbolo di un altoparlante è rappresentato nella fig. 21; esso vale tanto per gli altoparlanti eletttromagnetici, quanto per quelli dinamici.

Domande

1. Quali sono i due tipi principali di altoparlanti?
2. Qual è il sistema che, tra gli altoparlanti magnetici, presenta i maggiori vantaggi?
3. Come si chiama la piccola bobina degli altoparlanti dinamici, che è immersa nel campo magnetico?
4. Perchè gli altoparlanti dinamici di costruzione un po' antiquata sono spesso dotati di due cordoni d'allacciamento, oppure di due linee bipolari?
5. Perchè i moderni altoparlanti magnetodinamici non posseggono una bobina d'eccitazione?

MATEMATICA

3. Le equazioni (Continuazione dalla Dispensa N. 3).

Nelle Dispense precedenti avete imparato a risolvere delle equazioni e avete visto come si procede quando l'incognita x è contenuta in più di un termine. Ripeteremo ora con qualche esempio ciò che avete appreso.

Esempio 1: È da risolvere la seguente equazione: $8x + 4 = 5x + 22$.

Bisogna dapprima trasportare nel primo membro quei termini del secondo, che contengono la x. Ciò facendo, è da tener presente che i termini che si trovano già nel primo membro non cambiano il segno: invece le grandezze che passano da un membro dell'equazione all'altro assumono il segno opposto. Quindi:

$$8x - 5x + 4 = + 22$$

Tutti i termini che non contengono la x vanno portati ora nel secondo membro dell'equazione, ricordando sempre la relativa regola menzionata nella Dispensa N. 3. Nel presente problema non c'è che il 4 da portare dall'altra parte:

$$8x - 5x = + 22 - 4; \qquad 3x = 18$$

Seguendo la regola 2-*a* della Dispensa N. 1, dobbiamo ora dividere il secondo membro dell'equazione per 3, per far sì che l'incognita x rimanga isolata a sinistra: $x = \frac{18}{3}$; $x = 6$

Prova: Per convincerci della giustezza del risultato, possiamo inserire il valore 6 al posto di x nell'equazione data $8x + 4 = 5x + 22$, e dobbiamo trovare l'identico valore per entrambi i membri dell'equazione:

$$8 . 6 + 4 = 5 . 6 + 22; \qquad 48 + 4 = 30 + 22; \qquad 52 = 52.$$

I due membri sono uguali, e quindi il risultato trovato è giusto.

Esempio 2: È da risolvere la seguente equazione: $18 - 7x = 20 - 5x + 12$.

Trasportiamo i termini da un membro all'altro dell'equazione, cambiandone nel contempo il segno.

Se facessimo tale operazione con tutti i termini, invertiremmo tutti i segni, ottenendo

$$- 20 + 5x - 12 = - 18 + 7x$$

Ora, è senz'altro permesso di invertire i due membri di una equazione. Per esempio, al posto di $500 = 5 . 100$ si può scrivere: $5 . 100 = 500$. Possiamo quindi scrivere la nostra equazione così:

$$- 18 + 7x = - 20 + 5x - 12$$

Quest'equazione si distingue da quella data semplicemente per il fatto che sono stati invertiti tutti i segni, senza che per questo sia minimamente cambiato il carattere dell'equazione. Ne deriva la

Regola 14: *È lecito invertire contemporaneamente il segno di tutti i termini di un'equazione.*

La soluzione dell'equazione avviene nell'identico modo come nell'esempio 1: trasportando nel primo membro tutti i termini contenenti la x e nel secondo membro quelli che ne sono privi:

$$+ 7x - 5x = - 20 - 12 + 18; \qquad 2x = - 14; \qquad x = - 7.$$

La regola sopra esposta si mette in pratica quando si ha interesse a invertire i segni, per facilitare la soluzione dell'equazione, come avviene anche nei seguenti problemi:

Esempio 3: $25 - x = 40$; $\quad - x = 40 - 25$; $\quad - x = 15$.

Poichè non interessa conoscere il valore di « $- x$ », ma quello di « $+ x$ », si applica la regola 14 e si invertono tutti i segni, ottenendo: $+ x = - 15$, o semplicemente $x = - 15$

Esempio 4: $15 - 18x = - 75$. Si porta dall'altra parte il numero 15: $- 18x = - 75 - 15$; $- 18x = - 90$

Invertendo i segni: $18x = + 90$; ossia: $18x = 90$; $x = \frac{90}{18}$; $x = 5$.

Esempio 5: $5x - 14 - 8x = 3x - 16 - 4x$. Tutti i termini contenenti la x vengono trasportati a sinistra, quelli senza x a destra: $5x - 8x - 3x + 4x = - 16 + 14$; $- 2x = - 2$; $2x = 2$; $x = 1$.

Controlliamo un'altra volta l'esattezza del risultato ottenuto. Inseriamo al posto di x il numero trovato 1: $5x - 14x - 8x = 3x - 16 - 4x$; $5 . 1 - 14 . 1 - 8 . 1 = 3 . 1 - 16 - 4 . 1$; $5 - 14 - 8 = 3 - 16 - 4$; $- 17 = - 17$

Applicazioni delle equazioni.

Le equazioni finora esaminate hanno mostrato come si trova il valore dell'incognita x, data l'equazione. In pratica però capita raramente di trovare le equazioni da risolvere già bell'e preparate. In quasi tutti i casi bisogna invece formulare dapprima l'equazione, basandosi sulle condizioni date, e questo è spesso più difficile che risolvere l'equazione stessa.

Esempio 6: $4x - (5 - 2x) = 2 . (2{,}5\, x - 1{,}5)$. In questo problema occorre dapprima eliminare le parentesi. Le regole occorrenti sono già state riportate nella Dispensa N. 7: $4x - 5 + 2x = 2 . 2{,}5\, x - 2 . 1{,}5$; $4x - 5 + 2x = 5x - 3$; $4x + 2x - 5x = - 3 + 5$; $6x - 5x = + 2$; $x = 2$.

Esempio 7: Sommando 30 ad un certo numero, si ottiene 70. Qual è il numero cercato?

Benchè la soluzione di questo problema sia molto semplice, vogliamo abituarci già in questo caso al giusto procedimento di soluzione. Ci servirà per quando dovremo risolvere dei problemi più difficili.

Il numero che non conosciamo e che cerchiamo viene chiamato *l'incognita* e designato generalmente con la lettera x. Formiamo così l'equazione basandoci sulle condizioni date.

Sommando il numero 30 ad x, si ottiene 70. Se scriviamo questa proposizione sotto forma di equazione, otteniamo: $x + 30 = 70$; $x = 70 - 30$; $x = 40$.

Esempio 8: Prendendo 8 volte un numero e aggiungendo 12, si ottiene 60. Qual è il numero?

L'incognita è x. 8 volte x è quindi $8x$. A questi $8x$ va aggiunto 12, e ciò deve dare 60. L'equazione è dunque la seguente: $8x + 12 = 60$; $8x = 60 - 12$; $8x = 48$; $x = \frac{48}{8} = 6$.

Prova: Per convincerci dell'esattezza del risultato, inseriamo nell'equazione formulata al posto di x il numero 6: $8 \cdot 6 + 12 = 48 + 12 = 60$; $60 = 60$. Perciò la soluzione è esatta.

Esempio 9: Il quadruplo e il quintuplo del medesimo numero, sommati, danno 117. Qual è il numero?

Il numero viene designato dapprima con x. Il quadruplo del numero è $4x$, il quintuplo $5x$. L'equazione è:

$$4x + 5x = 117; \quad 9x = 117; \quad x = \frac{117}{9} = 13.$$

Prova: $4 \cdot 13 + 5 \cdot 13 = 117$; $52 + 65 = 117$; $117 = 117$.

Esempio 10: Aggiungendo a un numero il suo triplo e sommando al risultato il numero 8, si ottiene 6 volte il numero primitivo. Qual era questo numero?

Il numero cercato è x, il triplo $3x$. Dobbiamo aggiungere al numero cercato x il suo triplo $3x$: dobbiamo quindi formare l'espressione $x + 3x$. A questa somma bisogna aggiungere il numero 8: $x + 3x + 8$. Tutta questa espressione deve equivalere (in base al problema) a 6 volte il numero cercato x, ossia deve essere $6x$. L'equazione è quindi: $6x = x + 3x + 8$; $6x = 4x + 8$; $6x - 4x = 8$; $2x = 8$; $x = \frac{8}{2}$; $x = 4$.

Prova: $6x = x + 3x + 8$; $6 \cdot 4 = 4 + 3 \cdot 4 + 8$; $24 = 24$. La prova corrisponde: il numero cercato è dunque proprio 4.

Esempio 11: Un ciclista deve percorrere in tre giorni una distanza di 120 km. Il primo giorno supera una certa distanza, il secondo giorno ne fa il doppio e il terzo giorno gli rimangono ancora 60 km. Quanti chilometri ha fatto il primo giorno?

Il primo giorno il ciclista supera il percorso x, fa quindi x km. Il secondo giorno percorre una strada doppia, quindi $2x$ km. Il terzo giorno fa 60 km. Le tre distanze sommate devono fare 120 km. Si ha quindi la seguente equazione: $x + 2x + 60 = 120$; $x + 2x = 120 - 60$; $3x = 60$; $x = \frac{60}{3} = 20$.

Prova: Il ciclista ha percorso il primo giorno 20 km, il secondo giorno il doppio, quindi $2 \cdot 20 = 40$ km; i tre percorsi sono quindi: $20 + 40 + 60 = 120$ km (risultato giusto).

Esempio 12: Tre persone si dividono fra loro 80 mele, in modo che la seconda persona riceva 30 mele più della prima, e la terza persona 10 mele meno della prima. Quante mele riceve ciascuna persona?

Supponiamo che la prima persona riceva x mele. La seconda persona riceve $x + 30$ mele, e quindi 30 mele più della prima. La terza persona riceve 10 mele meno della prima, e quindi $x - 10$. Tutte e tre le persone assieme ricevono 80 mele. L'equazione deve essere quindi:

$$\underbrace{x}_{\text{prima persona}} + \underbrace{x + 30}_{\text{seconda persona}} + \underbrace{x - 10}_{\text{terza persona}} = 80;$$

$3x = 80 - 30 + 10$; $3x = 60$; $x = \frac{60}{3} = 20$.

Prova: La prima persona riceve dunque 20 mele. La seconda persona ne riceve 30 di più, quindi $20 + 30 = 50$ mele. La terza persona 10 mele meno della prima, quindi $20 - 10 = 10$ mele.

$20 + 50 + 10 = 80$ (esatto!)

Esempio 13: Un tale versa ancora 15 lire nel suo salvadanaio, e dopo qualche giorno ne toglie 28. Ricontando poi il contenuto del salvadanaio, trova 9 lire. Quale somma si trovava dapprima nel salvadanaio?

Poniamo che il denaro esistente in principio nel salvadanaio fosse x. Aggiungendo 15 lire, si trovano nel salvadanaio $x + 15$ lire. Poi si tolgono 28 lire, in modo che la rimanenza è $x + 15 - 28$. Questa rimanenza deve essere uguale a 9 lire. Sussiste quindi la seguente equazione: $x + 15 - 28 = 9$; $x = 9 - 15 + 28$; $x = 22$. In principio c'erano 22 lire nel salvadanaio.

Esempio 14: Tre pacchi postali pesano complessivamente 14 kg. Il secondo pacco pesa quattro volte più del primo, e il terzo pacco solo la metà del secondo. Quanto pesa ciascuno dei pacchi?

Chiamiamo x il peso del primo pacco. Il secondo pacco, in base alle condizioni del problema, pesa $4x$. Il terzo pacco pesa la metà del secondo, quindi: $\frac{4x}{2} = 2x$.

L'equazione è: $x + 4x + 2x = 14$; $7x = 14$; $x = 2$.

Il primo pacco pesa 2 kg, il secondo 8 kg, il terzo 4 kg. $2 + 8 + 4 = 14$ (esatto!)

Come avete visto dalla soluzione di questi esempi, si procede sempre nel seguente modo: si comincia col designare la grandezza incognita con x e si stabilisce poi la relazione, che intercorre tra le altre grandezze date e l'incognita x. Per esprimere una seconda o una terza grandezza occorre spesso aggiungere un numero dato a x, oppure sottrarlo.

Dopo aver espresso a questo modo le varie grandezze, si forma un'equazione che si risolve poi per x servendosi delle note regole.

Risposte alle domande di pag. 6

1. Si distinguono altoparlanti magnetici e altoparlanti dinamici.
2. Il sistema più vantaggioso di altoparlanti magnetici è quello a oscillazione libera.
3. Si chiama bobina mobile o dinamica.
4. Tali altoparlanti abbisognano di una corrente per la bobina d'eccitazione, e d'altra parte alla bobina mobile vanno addotte le correnti foniche.
5. I moderni altoparlanti magneto-dinamici posseggono un campo magnetico generato da un magnete permanente, ragione per cui non occorre la bobina d'eccitazione.

TECNICA DELLE MISURE

Gli strumenti a bobina mobile

Nella Dispensa N. 4 ci siamo occupati per ultimo degli *strumenti a bobina mobile*. Avete conosciuto così tali strumenti nella loro qualità di *misuratori di corrente*. Con gli strumenti a bobina mobile è però possibile misurare anche *le tensioni*, esattamente come con gli strumenti a ferro mobile.

Strumenti a bobina mobile per la misura della tensione.

Ovunque circola una corrente, esiste anche una tensione, che ne è la causa. Volendo quindi usare uno strumento a bobina mobile per la misura della tensione, basta tararne la scala, tenendo conto della legge di Ohm, e badare che il campo di misura dato non venga sorpassato. Questo genere di strumento consente la misura di correnti o tensioni assai piccole; vi spiegheremo però ora in che modo sia possibile ampliare il campo di misura.

Gli strumenti a bobina mobile presentano un campo di misura particolarmente piccolo. Un decimo di volt applicato alla bobina mobile basta già per far deviare l'indice fino in fondo alla scala. Se la scala è divisa in cento parti, ogni divisione corrisponde allora a solo 0,001 volt, ossia a un millesimo di volt.

Il fatto di poter misurare con uno strumento a bobina mobile delle tensioni così minuscole è però assai vantaggioso, poichè proprio nella tecnica delle telecomunicazioni occorre spesso determinare dei valori di tensione così piccoli.

Gli strumenti che permettono di misurare i millesimi di volt si chiamano *millivoltmetri*; analogamente gli strumenti adatti per la misura dei millesimi di ampère si chiamano *milliamperometri*.

Anche questi ultimi hanno numerose applicazioni nella tecnica delle telecomunicazioni.

A parte i suddetti strumenti, *occorrono anche voltmetri e amperometri per valori più elevati.* Esistono, per esempio, degli amperometri, che consentono la misura di correnti fino a 1000 o addirittura fino a 5000 ampère, come pure altri, il cui campo di misura arriva soltanto fino a 1 A o 5 A, oppure anche 10 A. Analogamente esistono voltmetri per i più svariati campi di tensione; per esempio, strumenti per misurare la tensione di batterie di accumulatori, che di regola è di 6 volt; altri per controllare la tensione di rete di 220 V; infine esistono perfino dei *chilovoltmetri*, cioè voltmetri adatti per misurare tensioni di parecchie migliaia di volt.

Tutti questi strumenti utilizzano degli apparati di misura per tensioni, oppure correnti, assai piccole. Occorre quindi, in ogni caso, far uso di speciali accorgimenti per *l'ampliamento del campo di misura.*

L'allargamento del campo di misura nei voltmetri.

Per allargare il campo di misura dei voltmetri si inserisce, in serie allo strumento, una cosiddetta *resistenza*

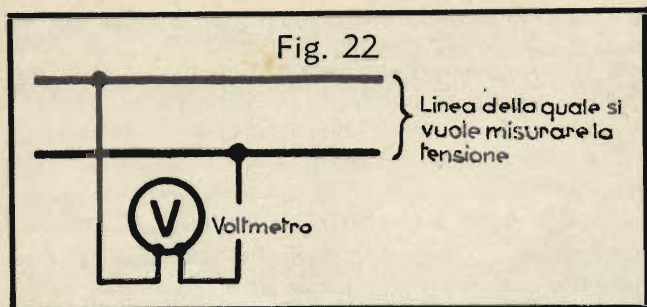



Fig. 22

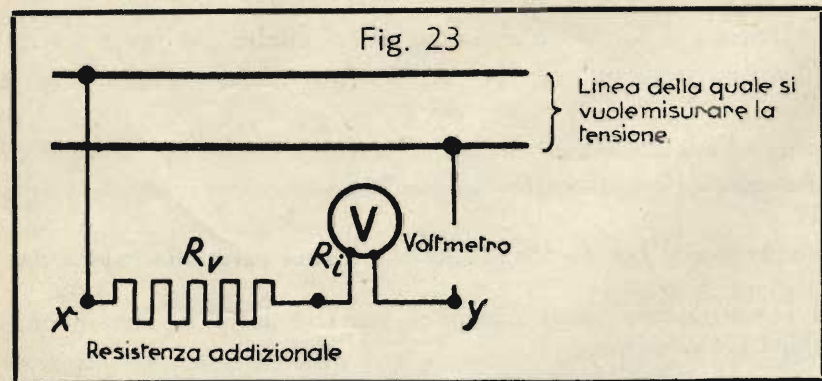
addizionale. Nella fig. 22 è mostrato il normale collegamento di un voltmetro ad una coppia di conduttori sotto tensione. Qualora la tensione da misurare fosse, presumibilmente, troppo elevata rispetto al campo di misura dello strumento, si inserisce una resistenza nella connessione del voltmetro, come è rappresentato nella fig. 23. Questa resistenza addizionale viene designata con la sigla R_s.

Fig. 23

Linea della quale si vuole misurare la tensione

R_v R_i V Voltmetro

x y

Resistenza addizionale

Se, per esempio, si desidera misurare con un voltmetro delle tensioni dieci volte più alte della maggior tensione per la quale lo strumento è stato originariamente costruito, basta scegliere in modo adatto la resistenza addizionale. La resistenza complessiva del ramo voltmetrico, ossia la resistenza giacente tra i punti x e y (fig. 23), deve essere in questo caso decuplicata; allora passa solo la decima parte della corrente che passerebbe, se non ci fosse la resistenza addizionale, e quindi l'escursione dell'indice viene ridotta in proporzione, indicando però in pari tempo tensioni più grandi.

Lo strumento di misura possiede esso pure una resistenza, che si chiama *resistenza propria* o *resistenza interna* dello strumento e si designa con l'abbreviazione R_i. Se desideriamo quindi aumentare dieci volte la resistenza del ramo voltmetrico tra x e y allo scopo di allargare il campo di misura, dobbiamo tener conto della resistenza interna dello strumento. Se la resistenza interna è R_i, la resistenza addizionale R_s dovrà allora equivalere a $9\ R_i$, come evidente. Infatti la resistenza giacente tra i punti x e y diventa

$$R_s + R_i = 9 R_i + R_i = 10 R_i$$

quindi dieci volte il valore originario R_i. In via generale possiamo dire:

Dovendo allargare il campo di misura di un voltmetro a n volte l'ampiezza iniziale, bisogna usare una resistenza addizionale del seguente valore:

$$R_s = R_i\ (n - 1) \qquad \text{. . . . . . . Formula (21)}$$

In questa formula n è il multiplo richiesto; se, per esempio, il campo di misura deve essere allargato di 5 volte, bisogna mettere $n = 5$; se va allargato di 100 volte, si pone $n = 100$.

Esempio:

Problema: Uno strumento a bobina mobile, della resistenza interna di 1 ohm, consente la misura diretta di tensioni fino ad un massimo di 0,15 volt. Il suo campo di misura è quindi uguale a 0,15 volt. Quali sono le resistenze addizionali necessarie per allargare il campo di misura fino a:

a) 1,5 volt *b)* 15 volt *c)* 150 volt?

Soluzione: Applichiamo la formula (21): $R_s = R_i\ (n - 1)$.

La resistenza propria R_i è nota; il numero n va determinato per ciascuna delle tre singole domande. Poichè $1,5 = 10 \,.\, 0,15$, $15 = 100 \,.\, 0,15$ e $150 = 1000 \,.\, 0,15$, abbiamo nel primo caso $n = 10$, nel secondo caso $n = 100$ e nel terzo $n = 1000$. Otteniamo così:

a) $R_s = R_i \,.\, (n - 1) = 1 \,.\, 9 = 9\ ohm$; b) $R_s = R_i \,.\, (n - 1) = 1 \,.\, 99 = 99\ ohm$; c) $R_s = R_i \,.\, (n - 1) = 1 \,.\, 999 = 999\ ohm$.

La soluzione di questo problema può essere ottenuta anche per altra via. La massima corrente che lo strumento può sopportare è, per qualsiasi campo di misura e quindi anche senza alcuna resistenza addizionale, $I = \frac{V_i}{R_i}$ dove V_i è la tensione applicata direttamente allo strumento, e quindi $V_i = 0,15$ volt. Si ha dunque:

$$I = \frac{V_i}{R_i} = \frac{0,15}{1} = 0,15 \text{ ampère.}$$

a) Anche per il campo di misura di $V = 1,5$ volt, la corrente non deve superare $I = 0,15$ ampère. Quindi la resistenza complessiva del ramo voltmetrico deve essere: $R = \frac{V}{I} = \frac{1,5}{0,15} = 10\ ohm$.

In questo caso R è costituito dalla messa in serie di R_i ed R_s, cioè $R = R_i + R_s$. Da ciò consegue che $R_s = R - R_i = 10 - 1 = 9$ *ohm*.

b) $V = 15$ volt; $R = \frac{V}{I} = \frac{15}{0{,}15} = 100$ ohm; $R_s = R - R_i = 100 - 1 = 99$ *ohm*

c) $V = 150$ volt; $R = \frac{V}{I} = \frac{150}{0{,}15} = 1000$ ohm; $R_s = R - R_i = 1000 - 1 = 999$ *ohm*

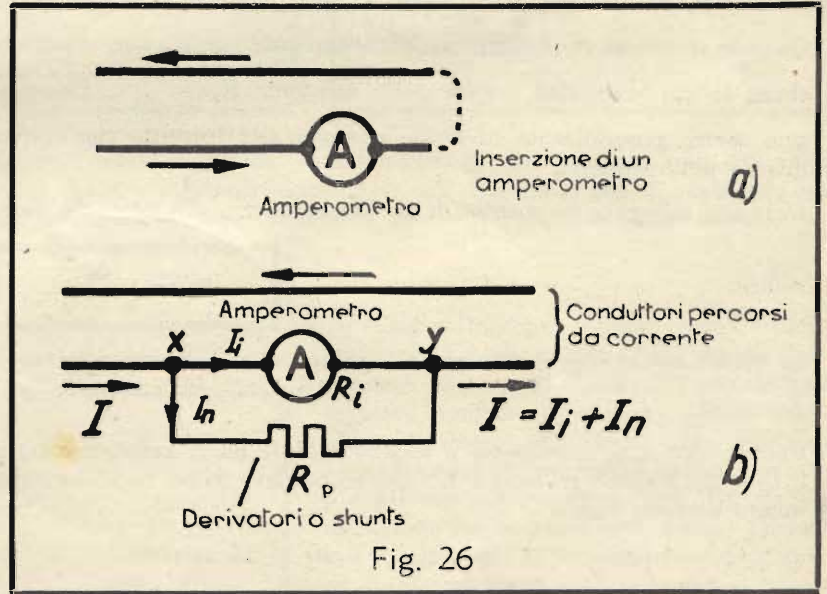
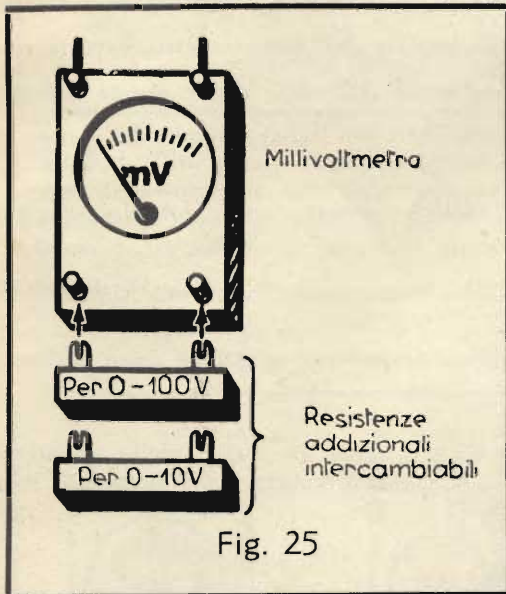
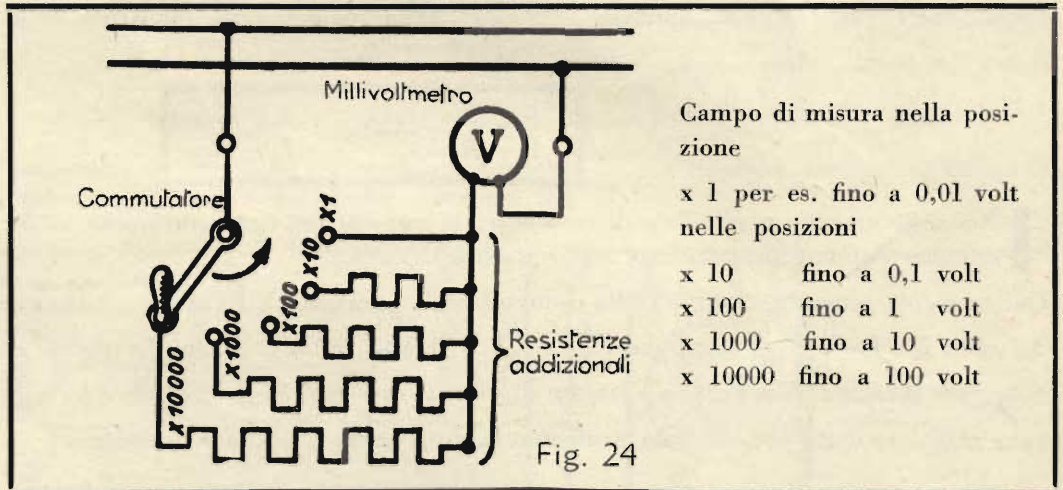
Quando occorre misurare in rapida successione tensioni di differente grandezza, ci si serve del dispositivo rappresentato nella figura 24. Esso possiede quattro differenti resistenze addizionali, che si possono scegliere mediante un commutatore a manovella. Esistono poi altri strumenti, previsti per la applicazione a scelta di varie resistenze addizionali, che sono date in dotazione degli strumenti stessi (figura 25).

Fig. 24

L'allargamento del campo di misura negli amperometri.

Anche nelle misure di corrente è possibile allargare il campo di misura. Nella fig. 26-*a* si vede come viene inserito un amperometro in una linea. Se ora si desidera misurare con lo stesso amperometro una corrente di maggiore intensità, si inserisce una resistenza in parallelo allo strumento. Questa resistenza si chiama *derivatore* oppure *shunt* (leggi « scent »), e si designa con la sigla R_p.

Fig. 25

Fig. 26

Supponiamo, per fissare le idee, che l'amperometro di cui disponiamo abbia un campo di misura fino ad un ampère (o, come si dice anche, la *portata di 1 A*); si devono però misurare correnti fino a 10 ampère. In questo caso lo strumento da solo non può servire, poichè la sua scala non arriva fino a correnti così forti. Inoltre esso potrebbe anche rimanere danneggiato, poichè si potrebbe bruciare la bobina mobile.

Per far sì che la corrente circolante nello strumento non sia troppo forte, si usa, come abbiamo detto, uno *shunt*, attraverso il quale passa la maggior parte della corrente. Poichè abbiamo l'intenzione di misurare correnti dieci volte più grandi della portata dello strumento, dobbiamo far sì che la corrente, che attraversa lo strumento (corrente interna I_i) sia uguale a un decimo della corrente totale, e quindi gli altri nove decimi passino attraverso lo *shunt*.

Per poter calcolare il valore della resistenza in parallelo, (cioè dello *shunt*), si considera il quoziente $\frac{R_p}{R_i}$ delle due resistenze. Questo quoziente deriva dal seguente ragionamento di ordine generale:

Abbiamo due resistenze R_1 e R_2, collegate in parallelo e percorse dalle correnti I_1 rispettivamente I_2. La corrente totale è $I = I_1 + I_2$. Essendo collegate in parallelo, le due resistenze sono sottoposte alla medesima tensione, e quindi $V = I_1 . R_1$, come pure $V = I_2 . R_2$.

Calcolando con le conduttanze $G_1 = \frac{1}{R_1}$ e $G_2 = \frac{1}{R_2}$, si ha invece $V = \frac{I_1}{G_1}$; $V = \frac{I_2}{G_2}$. Ad ogni modo si ha l'equazione $I_1 . R_1 = I_2 . R_2$, oppure: $\frac{I_1}{G_1} = \frac{I_2}{G_2}$, dalla quale, per il quoziente delle due correnti parziali, si ricava il seguente valore:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \text{ ; oppure: } \frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{G_2} \qquad \text{Formula (22)}$$

Nel collegamento in parallelo di resistenze, le correnti nei rami stanno fra di loro come le rispettive conduttanze (oppure inversamente alle resistenze).

Questa regola generale si applica alla connessione in parallelo di R_p con R_i, e si ottiene quindi, per le correnti dei rami I_i e I_p: $\frac{I_i}{I_p} = \frac{G_i}{G_p}$; oppure: $\frac{I_i}{I_p} = \frac{R_p}{R_i}$. Questo non è altro che il rapporto cercato delle due resistenze. Se quindi il campo di misura va allargato di dieci volte, ossia se la corrente totale $I = I_i + I_p$ dev'essere dieci volte maggiore della portata dello strumento I_i, deve essere $I_i = \frac{1}{10} I$ e la rimanente parte $I_p = \frac{9}{10} I$. Il rapporto delle correnti è $\frac{I_i}{I_p} = \frac{\frac{1}{10} I}{\frac{9}{10} I} = \frac{\frac{1}{10}}{\frac{9}{10}} = \frac{1}{9}$, dimodochè $\frac{R_p}{R_i} = \frac{I_i}{I_p} = \frac{1}{9}$, e quindi: $R_p = \frac{1}{9} R_i = \frac{R_i}{9}$.

Poichè nello shunt deve passare una corrente nove volte maggiore di quella che passa nell'amperometro, la resistenza R_p dello shunt deve essere la nona parte della resistenza interna R_i.

Quando invece si vuole misurare una corrente cento volte superiore alla portata dell'amperometro, occorre uno shunt la cui resistenza è data dalla relazione $R_p = \frac{R_i}{99}$. Come vedete senza difficoltà, anche questa formula può essere generalizzata in modo analogo alla formula che abbiamo già visto per l'allargamento del campo di misura dei voltmetri.

Dovendo allargare la portata di un amperometro a n volte la portata iniziale, occorre uno shunt del seguente valore:

$$R_p = \frac{R_i}{n - 1} \qquad \text{Formula (23)}$$

In questa equazione il numero n significa quante volte viene moltiplicata la portata iniziale.

Esempio:

Problema: Uno strumento a bobina mobile ha la resistenza interna $R_i = 1$ ohm; la portata dello strumento è $I_i = 0{,}15$ ampère. Qual è il valore che deve avere lo shunt, affinchè si possano misurare col medesimo strumento correnti fino a

a) 1,5 ampère b) 15 ampère c) 150 ampère?

Soluzione: Secondo le condizioni del problema, la portata deve essere allargata a dieci, cento e mille volte il valore iniziale; quindi si ha nei vari casi:

a) $n = 10$ b) $n = 100$ c) $n = 1000$

Inseriamo questi valori nella formula (23) e troviamo:

a) $R_p = \frac{1}{10 - 1} = \frac{1}{9}$ *ohm*; b) $R_p = \frac{1}{100 - 1} = \frac{1}{99}$ *ohm*; c) $R_p = \frac{1}{1000 - 1} = \frac{1}{999}$ *ohm*.

Anche in questo caso è possibile arrivare al medesimo risultato per altra via.

La tensione V occorrente per far passare attraverso lo strumento la corrente di 0,15 ampère, corrispondente alla sua portata è: $V = I_i . R_i = 0{,}15 . 1 =$ *0,15 volt*.

La tensione applicata ai morsetti dello strumento, ossia tra i punti x e y della fig. 26-b, non deve superare questo valore, poichè altrimenti la corrente I_i supererebbe la portata dello strumento e l'indice uscirebbe dalla scala.

Lo shunt R_p, collegato in parallelo all'amperometro, è sottoposto alla medesima tensione di 0,15 volt. Ora nel caso *a)* del problema si vuole misurare la corrente I = 1,5 ampère, invece di 0,15 ampère, e quindi la corrente passante nello shunt deve essere $I_p = I - I_i = 1,5 - 0,15 = 1,35$ ampère. Secondo la legge di Ohm, la resistenza dello shunt è quindi $R_p = \frac{V}{I_p} = \frac{0,15}{1,35} = \frac{1}{9}$ *ohm*

Allo stesso modo si possono calcolare gli shunts occorrenti per aumentare di cento, rispettivamente mille volte, la portata:

b) $I = 15$ ampère; $I_p = I - I_i = 15 - 0,15 = 14,85$ *ampère*; $R_p = \frac{V}{I_p} = \frac{0,15}{14,85} = \frac{1}{99}$ *ohm*

c) $I = 150$ ampère; $I_p = I - I_i = 150 - 0,15 = 149,85$ *ampère*; $R_p = \frac{V}{I_p} = \frac{0,15}{149,85} = \frac{1}{999}$ *ohm*.

Anche un amperometro può essere dotato di un commutatore a manovella per scegliere vari campi di misura, nel medesimo modo che abbiamo già visto nel caso del voltmetro (fig. 27).

Fig. 27

Fig. 28

D'altronde l'industria costruisce anche strumenti dotati di shunts intercambiabili, per la scelta dei differenti campi di misura (fig. 28). Alle volte strumenti di questo genere sono dotati, sia di shunts, che di resistenze addizionali, in modo da poter servire come amperometri e come voltmetri, per differenti campi di misura. Lo schema di un siffatto strumento è riportato nella fig. 29.

Strumenti universali (strumenti multipli).

Come avete visto, un equipaggio a bobina mobile può essere usato tanto come voltometro, quanto come amperometro; basta collegare con l'equipaggio stesso (o *sistema* di misura, come si dice anche) degli adatti shunts o resistenze addizionali. La fig. 29 mostra una maniera semplice di eseguire questa inserzione. In questo caso occorre una resistenza addizionale oppure uno shunt separato per ciascun campo di misura. Questa disposizione ha lo svantaggio che si devono avere, oltre allo *strumento universale* stesso, numerosi pezzi accessori, che si possono facilmente perdere, oppure non avere sottomano al momento dell'uso. Inoltre il fissaggio di queste resistenze accessorie richiede sempre un certo tempo e va fatto con cautela. Si sono creati perciò dei tipi perfezionati, nei quali le resistenze addizionali e gli shunts sono incorporati nello strumento stesso.

Fig. 29

Generalmente tali strumenti contengono un dispositivo speciale, che permette di misurare anche correnti e tensioni alternate; in tal modo essi diventano adatti per le più

svariate misure. Questo dispositivo è necessario poichè, come è noto, gli strumenti a bobina mobile a sè stanti si possono usare solo per le correnti continue, che vanno applicate con la giusta polarità. Le correnti alternate, invece, invertono continuamente la direzione, e costringerebbero quindi l'indice a oscillare continuamente avanti e indietro con lo stesso ritmo. Ora ciò non è possibile, poichè, in primo luogo, gli strumenti non sono generalmente costruiti in modo da permettere l'escursione dell'indice sotto lo zero, e in secondo luogo, l'indice, data la sua inerzia, non è nemmeno in grado di seguire le rapide oscillazioni della corrente alternata.

Volendo misurare le correnti alternate con lo strumento a bobina mobile, si pone anzitutto il problema di far circolare la corrente sempre nella medesima direzione, anzichè alternativamente nell'una e nell'altra. Questa funzione è svolta dal cosiddetto *raddrizzatore* che, per l'uso ora contemplato, è un organo assai semplice. Ritorneremo in seguito sull'argomento: per ora basta sapere che una corrente alternata, addotta al raddrizzatore, ne esce come corrente continua e può quindi essere facilmente misurata con uno strumento a bobina mobile.

Fig. 30

Lo *strumento universale* è dotato di un piccolo commutatore, che permette di inserire questo raddrizzatore quando si vogliono eseguire delle misure in corrente alternata. *Il commutatore può assumere due posizioni, contrassegnate rispettivamente con i segni « = » per la corrente continua e « ∼ » per la corrente alternata.*

La fig. 30 mostra un perfezionamento dell'idea della fig. 29. Lo strumento è ora dotato di varie prese, corrispondenti alle varie portate; *a sinistra per le correnti, a destra per le tensioni.* La grandezza da misurare viene applicata con un capo al polo comune (qui il negativo, corrispondente alla presa « — »), e con l'altro capo alla presa relativa al campo di misura occorrente (fig. 31 *a* e *b*). Il commutatore, che si vede in basso, serve a scegliere tra corrente (o tensione) continua e corrente (o tensione) alternata. *La scala dello strumento porta varie graduazioni.*

Quella centrale, divisa in modo uniforme, serve per la lettura dei valori di corrente o tensione continua; la scala superiore per le correnti e tensioni alternate. Quest'ultima è leggermente ristretta al principio.

a) Misura di corrente   b) Misura di tensione   c) Misura di resistenza

Fig. 31

Con l'aiuto di una batteria ausiliaria si possono poi misurare anche le resistenze. A questo scopo lo strumento è dotato di una terza graduazione, quella in basso, divisa in ohm, in base alla legge di Ohm. Per la misura delle resistenze si eseguisce il collegamento secondo la fig. 31-*c*. Anche questo metodo di misura è facilmente comprensibile, se ci ricordiamo della legge di Ohm. Quando la resistenza R_x è uguale a zero, agisce sullo strumento l'intiera tensione di 4,5 volt. L'indice si porta allora su zero ohm (corrispondente a 4,5 volt). Aumentando la resistenza R_x, si ha una caduta di tensione, che diventa sempre più forte man mano che aumenta il valore di R_x; di conseguenza diminuisce la parte di tensione applicata allo strumento. La scala graduata in ohm riporta valori crescenti di resistenza, in direzione dello « zero » dello strumento. Se la resistenza da misurare

La tensione applicata ai morsetti dello strumento, ossia tra i punti x e y della fig. 26-b, non deve superare questo valore, poichè altrimenti la corrente I_i supererebbe la portata dello strumento e l'indice uscirebbe dalla scala.

Lo shunt R_p, collegato in parallelo all'amperometro, è sottoposto alla medesima tensione di 0,15 volt. Ora nel caso *a)* del problema si vuole misurare la corrente I = 1,5 ampère, invece di 0,15 ampère, e quindi la corrente passante nello shunt deve essere $I_p = I - I_i = 1{,}5 - 0{,}15 = 1{,}35$ ampère. Secondo la legge di Ohm, la resistenza dello shunt è quindi $R_p = \frac{V}{I_p} = \frac{0{,}15}{1{,}35} = \frac{1}{9}$ *ohm*

Allo stesso modo si possono calcolare gli shunts occorrenti per aumentare di cento, rispettivamente mille volte, la portata:

b) $I = 15$ ampère; $I_p = I - I_i = 15 - 0{,}15 = 14{,}85$ *ampère*; $R_p = \frac{V}{I_p} = \frac{0{,}15}{14{,}85} = \frac{1}{99}$ *ohm*

c) $I = 150$ ampère; $I_p = I - I_i = 150 - 0{,}15 = 149{,}85$ *ampère*; $R_p = \frac{V}{I_p} = \frac{0{,}15}{149{,}85} = \frac{1}{999}$ *ohm*.

Anche un amperometro può essere dotato di un commutatore a manovella per scegliere vari campi di misura, nel medesimo modo che abbiamo già visto nel caso del voltmetro (fig. 27).

Campo di misura nella posizione:

x 1, per es., fino a 10 mA; nelle posizioni:

x 10	fino a	100 mA
x 100	fino a	1 A
x 1000	fino a	10 A

Fig. 27

Fig. 28

D'altronde l'industria costruisce anche strumenti dotati di shunts intercambiabili, per la scelta dei differenti campi di misura (fig. 28). Alle volte strumenti di questo genere sono dotati, sia di shunts, che di resistenze addizionali, in modo da poter servire come amperometri e come voltmetri, per differenti campi di misura. Lo schema di un siffatto strumento è riportato nella fig. 29.

Strumenti universali (strumenti multipli).

Come avete visto, un equipaggio a bobina mobile può essere usato tanto come voltometro, quanto come amperometro; basta collegare con l'equipaggio stesso (o *sistema* di misura, come si dice anche) degli adatti shunts o resistenze addizionali. La fig. 29 mostra una maniera semplice di eseguire questa inserzione. In questo caso occorre una resistenza addizionale oppure uno shunt separato per ciascun campo di misura. Questa disposizione ha lo svantaggio che si devono avere, oltre allo *strumento universale* stesso, numerosi pezzi accessori, che si possono facilmente perdere, oppure non avere sottomano al momento dell'uso. Inoltre il fissaggio di queste resistenze accessorie richiede sempre un certo tempo e va fatto con cautela. Si sono creati perciò dei tipi perfezionati, nei quali le resistenze addizionali e gli shunts sono incorporati nello strumento stesso.

Fig. 29

Generalmente tali strumenti contengono un dispositivo speciale, che permette di misurare anche correnti e tensioni alternate; in tal modo essi diventano adatti per le più

svariate misure. Questo dispositivo è necessario poichè, come è noto, gli strumenti a bobina mobile a sè stanti si possono usare solo per le correnti continue, che vanno applicate con la giusta polarità. Le correnti alternate, invece, invertono continuamente la direzione, e costringerebbero quindi l'indice a oscillare continuamente avanti e indietro con lo stesso ritmo. Ora ciò non è possibile, poichè, in primo luogo, gli strumenti non sono generalmente costruiti in modo da permettere l'escursione dell'indice sotto lo zero, e in secondo luogo, l'indice, data la sua inerzia, non è nemmeno in grado di seguire le rapide oscillazioni della corrente alternata.

Volendo misurare le correnti alternate con lo strumento a bobina mobile, si pone anzitutto il problema di far circolare la corrente sempre nella medesima direzione, anzichè alternativamente nell'una e nell'altra. Questa funzione è svolta dal cosiddetto *raddrizzatore* che, per l'uso ora contemplato, è un organo assai semplice. Ritorneremo in seguito sull'argomento: per ora basta sapere che una corrente alternata, addotta al raddrizzatore, ne esce come corrente continua e può quindi essere facilmente misurata con uno strumento a bobina mobile.

Fig. 30

Lo *strumento universale* è dotato di un piccolo commutatore, che permette di inserire questo raddrizzatore quando si vogliono eseguire delle misure in corrente alternata. *Il commutatore può assumere due posizioni, contrassegnate rispettivamente con i segni « = » per la corrente continua e « ∼ » per la corrente alternata.*

La fig. 30 mostra un perfezionamento dell'idea della fig. 29. Lo strumento è ora dotato di varie prese, corrispondenti alle varie portate; *a sinistra per le correnti, a destra per le tensioni.* La grandezza da misurare viene applicata con un capo al polo comune (qui il negativo, corrispondente alla presa « — »), e con l'altro capo alla presa relativa al campo di misura occorrente (fig. 31 *a* e *b*). Il commutatore, che si vede in basso, serve a scegliere tra corrente (o tensione) continua e corrente (o tensione) alternata. *La scala dello strumento porta varie graduazioni.*

Quella centrale, divisa in modo uniforme, serve per la lettura dei valori di corrente o tensione continua; la scala superiore per le correnti e tensioni alternate. Quest'ultima è leggermente ristretta al principio.

a) Misura di corrente b) Misura di tensione c) Misura di resistenza

Fig. 31

Con l'aiuto di una batteria ausiliaria si possono poi misurare anche le resistenze. A questo scopo lo strumento è dotato di una terza graduazione, quella in basso, divisa in ohm, in base alla legge di Ohm. Per la misura delle resistenze si eseguisce il collegamento secondo la fig. 31-*c*. Anche questo metodo di misura è facilmente comprensibile, se ci ricordiamo della legge di Ohm. Quando la resistenza R_x è uguale a zero, agisce sullo strumento l'intiera tensione di 4,5 volt. L'indice si porta allora su zero ohm (corrispondente a 4,5 volt). Aumentando la resistenza R_x, si ha una caduta di tensione, che diventa sempre più forte man mano che aumenta il valore di R_x; di conseguenza diminuisce la parte di tensione applicata allo strumento. La scala graduata in ohm riporta valori crescenti di resistenza, in direzione dello « zero » dello strumento. Se la resistenza da misurare

Fig. 32

è infinita, la tensione rimane completamente assorbita dalla resistenza; non resta più alcuna tensione per lo strumento, e quindi l'indice torna all'inizio della scala dove segna la resistenza « infinita » = ∞.

Un altro tipo di strumento universale è quello della figura 32. Anche in questo caso tutte le resistenze addizionali e in derivazione, come pure un raddrizzatore, sono incorporati nello strumento. A differenza dello strumento rappresentato nella fig. 30, i campi di misura vengono, in questo tipo, scelti per mezzo del commutatore situato nella parte anteriore dell'apparecchio. In questo modo occorrono soltanto due morsetti. Il commutatore per la scelta delle correnti continue, oppure alternate, si trova tra i morsetti dello strumento. Anche qui esistono varie graduazioni, come per lo strumento della fig. 30, con la differenza che la scala per la corrente continua si trova in alto e quella per l'alternata in mezzo.

Esistono molti altri strumenti analoghi, tutti costruiti però sul medesimo principio. Spesso la pila, occorrente per le misure di resistenza, è già incorporata anch'essa entro la custodia dello strumento. Nella tecnica delle telecomunicazioni si usano volentieri strumenti di questo genere, perchè servono per eseguire quasi tutte le misure necessarie.

Il galvanoscopio ed il galvanometro ad ago.

Fig. 33

Nella Dispensa N. 2, alla fig. 46, avete conosciuto il primo apparecchio telegrafico, che costituisce anche un rudimentale strumento per la misura della corrente. Secondo l'uso al quale è destinato, questo dispositivo si chiama *galvanoscopio* oppure *galvanometro ad ago*. Il galvanoscopio serve generalmente soltanto per mostrare l'esistenza e la direzione della corrente. Il galvanometro invece è uno strumento ad elevata sensibilità per la misura di correnti piccolissime. Il galvanometro ad ago è senza dubbio il più antico strumento di misura elettrico. Ecco in breve la sua storia.

Nell'anno 1820 il professore *Giovanni Cristiano Oersted*, di Copenaghen, docente all'università di Kiel, stava eseguendo degli esperimenti per determinare la velocità di propagazione della corrente elettrica in un conduttore. Sul tavolo del laboratorio, sotto la linea percorsa dalla corrente, si trovava per caso una bussola. Un assistente di Oersted, che era presente alle esperienze, notò che, ogni qual volta veniva inserita la corrente, l'ago della bussola subiva una deviazione. Fatto osservare il fenomeno al professore, questi riconobbe subito l'enorme importanza della scoperta, sulla quale doveva poi basarsi un intero ramo della scienza elettrotecnica.

Fig. 34

Nella fig. 33 è rappresentata la disposizione sperimentale del professor Oersted. Sopra un ago magnetico è teso un conduttore percorso dalla corrente. L'ago subisce una deviazione più o meno forte, secondo l'intensità della corrente nel filo. Con questo dispositivo semplicissimo è effettivamente possibile misurare delle correnti.

Dalle cognizioni sul magnetismo, che avete già appreso, si deduce facilmente la direzione della deviazione dell'ago magnetico.

Come sapete, l'ago si orienta nel campo magnetico in modo da indicare col proprio polo nord la direzione delle linee di forza. Sapete inoltre che ogni corrente elettrica produce un campo magnetico nello spazio circostante. Nel caso del conduttore rettilineo, le linee di forza sono dei cerchi concentrici al conduttore. L'ago da bussola è però sottoposto pure all'azione del campo magnetico terrestre; esso viene quindi deviato tanto maggiormente dalla direzione nord-sud, quanto più intensa è la corrente nel filo. Quando la corrente è molto debole, l'ago non si dispone ancora completamente nella direzione delle linee di forza (fig. 34). La direzione delle linee di forza si determina mediante la già descritta *regola del cavatappi.*

Se il conduttore viene ripiegato su se stesso, in modo da passare sopra e sotto l'ago, formando una spira, entrambi i lati della spira agiscono sull'ago, e quindi, a parità di corrente, la deviazione risulta maggiore. Anche in questo caso (fig. 35) si ottiene la direzione delle linee di forza con la regola del cavatappi.

Se si dispongono ora parecchie spire attorno all'ago, in luogo di una sola, si possono misurare con un siffatto galvanometro correnti relativamente minuscole (fig. 36), poichè queste sono già sufficienti per provocare una sensibile deviazione dell'ago. Un dispositivo di questo genere è chiamato anche *moltiplicatore*, perchè produce una moltiplicazione della forza agente sull'ago.

Poichè ogni ago magnetico si dispone nella direzione nord-sud, per effetto del campo magnetico terrestre, è necessario, prima di procedere alle misure, orientare lo strumento in modo da far coincidere il piano in cui giacciono le spire della bobina con la posizione iniziale dell'ago, cioè con la direzione nord-sud.

Questo galvanoscopio permette di stabilire la presenza di una corrente e naturalmente anche di determinare la direzione in base al senso della deviazione dell'ago.

Se l'ago viene dotato di un indice e di una scala adeguatamente graduata, si ha un vero e proprio strumento di misura, ottenuto con mezzi assai semplici (fig. 37).

Il galvanometro a specchio.

Partendo dal semplice galvanometro, che abbiamo ora descritto, lo scienziato Gauss sviluppò uno strumento di misura molto sensibile, il cosiddetto *galvanometro a specchio.*

Questo strumento è costituito da un ago da bussola, oppure da una sbarretta magnetica sospesa ad un filo sottile (fig. 38-a), al quale è fissato anche uno specchietto. Un raggio proveniente da una sorgente luminosa viene riflesso dallo specchio e cade, per esempio, sulla superficie di una parete. Quando, in seguito al movimento dell'ago magnetico, lo specchietto subisce una lieve deviazione, la chiazza luminosa compie sulla parete un certo spostamento, che è tanto maggiore quanto più distante si trova la parete. Basta un mo-

Fig. 32

è infinita, la tensione rimane completamente assorbita dalla resistenza; non resta più alcuna tensione per lo strumento, e quindi l'indice torna all'inizio della scala dove segna la resistenza « infinita » = ∞.

Un altro tipo di strumento universale è quello della figura 32. Anche in questo caso tutte le resistenze addizionali e in derivazione, come pure un raddrizzatore, sono incorporati nello strumento. A differenza dello strumento rappresentato nella fig. 30, i campi di misura vengono, in questo tipo, scelti per mezzo del commutatore situato nella parte anteriore dell'apparecchio. In questo modo occorrono soltanto due morsetti. Il commutatore per la scelta delle correnti continue, oppure alternate, si trova tra i morsetti dello strumento. Anche qui esistono varie graduazioni, come per lo strumento della fig. 30, con la differenza che la scala per la corrente continua si trova in alto e quella per l'alternata in mezzo.

Esistono molti altri strumenti analoghi, tutti costruiti però sul medesimo principio. Spesso la pila, occorrente per le misure di resistenza, è già incorporata anch'essa entro la custodia dello strumento. Nella tecnica delle telecomunicazioni si usano volentieri strumenti di questo genere, perchè servono per eseguire quasi tutte le misure necessarie.

Il galvanoscopio ed il galvanometro ad ago.

Nella Dispensa N. 2, alla fig. 46, avete conosciuto il primo apparecchio telegrafico, che costituisce anche un rudimentale strumento per la misura della corrente. Secondo l'uso al quale è destinato, questo dispositivo si chiama *galvanoscopio* oppure *galvanometro ad ago*.

Fig. 33

Il galvanoscopio serve generalmente soltanto per mostrare l'esistenza e la direzione della corrente. Il galvanometro invece è uno strumento ad elevata sensibilità per la misura di correnti piccolissime. Il galvanometro ad ago è senza dubbio il più antico strumento di misura elettrico. Ecco in breve la sua storia.

Nell'anno 1820 il professore *Giovanni Cristiano Oersted*, di Copenaghen, docente all'università di Kiel, stava eseguendo degli esperimenti per determinare la velocità di propagazione della corrente elettrica in un conduttore. Sul tavolo del laboratorio, sotto la linea percorsa dalla corrente, si trovava per caso una bussola. Un assistente di Oersted, che era presente alle esperienze, notò che, ogni qual volta veniva inserita la corrente, l'ago della bussola subiva una deviazione. Fatto osservare il fenomeno al professore, questi riconobbe subito l'enorme importanza della scoperta, sulla quale doveva poi basarsi un intero ramo della scienza elettrotecnica.

Fig. 34

Orientamento dell'ago da bussola nel campo magnetico di un conduttore percorso da corrente

Nella fig. 33 è rappresentata la disposizione sperimentale del professor Oersted. Sopra un ago magnetico è teso un conduttore percorso dalla corrente. L'ago subisce una deviazione più o meno forte, secondo l'intensità della corrente nel filo. Con questo dispositivo semplicissimo è effettivamente possibile misurare delle correnti.

Dalle cognizioni sul magnetismo, che avete già appreso, si deduce facilmente la direzione della deviazione dell'ago magnetico. Come sapete, l'ago si orienta nel campo magnetico in modo da indicare col proprio polo nord la direzione delle linee di forza. Sapete inoltre che ogni corrente elettrica produce un campo magnetico nello spazio circostante. Nel caso del conduttore rettilineo, le linee di forza sono dei cerchi concentrici al conduttore. L'ago da bussola è però sottoposto pure all'azione del campo magnetico terrestre; esso viene quindi deviato tanto maggiormente dalla direzione nord-sud, quanto più intensa è la corrente nel filo. Quando la corrente è molto debole, l'ago non si dispone ancora completamente nella direzione delle linee di forza (fig. 34). La direzione delle linee di forza si determina mediante la già descritta *regola del cavatappi*.

La deviazione dell'ago e' tanto maggiore, quanto piu' numerose sono le spire che lo circondano

Se il conduttore viene ripiegato su se stesso, in modo da passare sopra e sotto l'ago, formando una spira, entrambi i lati della spira agiscono sull'ago, e quindi, a parità di corrente, la deviazione risulta maggiore. Anche in questo caso (fig. 35) si ottiene la direzione delle linee di forza con la regola del cavatappi.

Se si dispongono ora parecchie spire attorno all'ago, in luogo di una sola, si possono misurare con un siffatto galvanometro correnti relativamente minuscole (fig. 36), poichè queste sono già sufficienti per provocare una sensibile deviazione dell'ago. Un dispositivo di questo genere è chiamato anche *moltiplicatore*, perchè produce una moltiplicazione della forza agente sull'ago.

Poichè ogni ago magnetico si dispone nella direzione nord-sud, per effetto del campo magnetico terrestre, è necessario, prima di procedere alle misure, orientare lo strumento in modo da far coincidere il piano in cui giacciono le spire della bobina con la posizione iniziale dell'ago, cioè con la direzione nord-sud.

Questo galvanoscopio permette di stabilire la presenza di una corrente e naturalmente anche di determinare la direzione in base al senso della deviazione dell'ago.

Se l'ago viene dotato di un indice e di una scala adeguatamente graduata, si ha un vero e proprio strumento di misura, ottenuto con mezzi assai semplici (fig. 37).

Il galvanometro a specchio.

Partendo dal semplice galvanometro, che abbiamo ora descritto, lo scienziato Gauss sviluppò uno strumento di misura molto sensibile, il cosiddetto *galvanometro a specchio*.

Fig 37

Questo strumento è costituito da un ago da bussola, oppure da una sbarretta magnetica sospesa ad un filo sottile (fig. 38-a), al quale è fissato anche uno specchietto. Un raggio proveniente da una sorgente luminosa viene riflesso dallo specchio e cade, per esempio, sulla superficie di una parete. Quando, in seguito al movimento dell'ago magnetico, lo specchietto subisce una lieve deviazione, la chiazza luminosa compie sulla parete un certo spostamento, che è tanto maggiore quanto più distante si trova la parete. Basta un mo-

vimento quasi impercettibile dello specchio per ottenere già un notevole spostamento della chiazza. Riportando sulla parete una graduazione, è possibile misurare in tal modo l'intensità della corrente, supposto naturalmente che il dispositivo sia stato adeguatamente tarato.

Nella fig. 38 è rappresentato, come paragone per il galvanometro a specchio, un ragazzo che con uno specchietto si diverte a riflettere i raggi solari. Per esperienza personale saprete certamente come una minima inclinazione dello specchio sia sufficiente per spostare di un gran tratto il raggio di luce sulla parete della casa colpita dallo stesso.

Fig. 38

I moderni galvanometri sono straordinariamente sensibili: si possono leggere comodamente perfino frazioni di microampère. Per poter misurare con precisione anche delle correnti così estremamente piccole, la costruzione dello strumento venne alquanto modificata. Oggi è mobile la bobina, ed è invece fissa la parte magnetica; l'effetto deve essere ovviamente lo stesso, solo che prima si muoveva l'ago, ora la bobina. È chiaro poi che l'escursione risulta tanto maggiore, quanto più intenso è il campo magnetico. Ora, un ago non può produrre che un campo molto debole, date le sue minuscole dimensioni e dato che le linee di forza del circuito magnetico non si chiudono nel ferro, che è un buon conduttore del flusso magnetico, ma devono seguire un percorso nell'aria. Per queste ragioni si passò alla costruzione del moderno strumento a bobina mobile, mantenendo però la sospensione e lo specchio del vecchio galvanometro. La fig. 39 mostra il *sistema di misura* di un *galvanometro a specchio* di questo tipo.

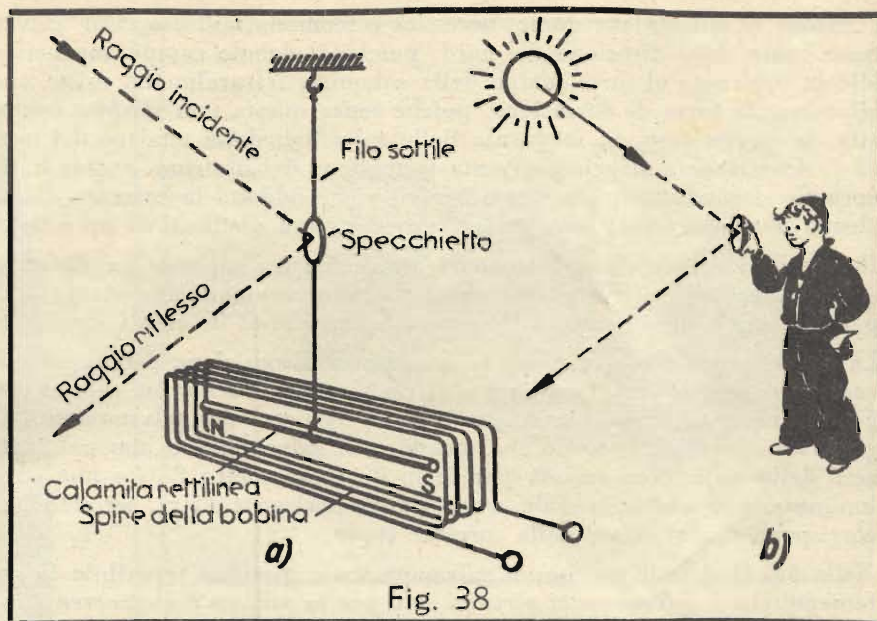
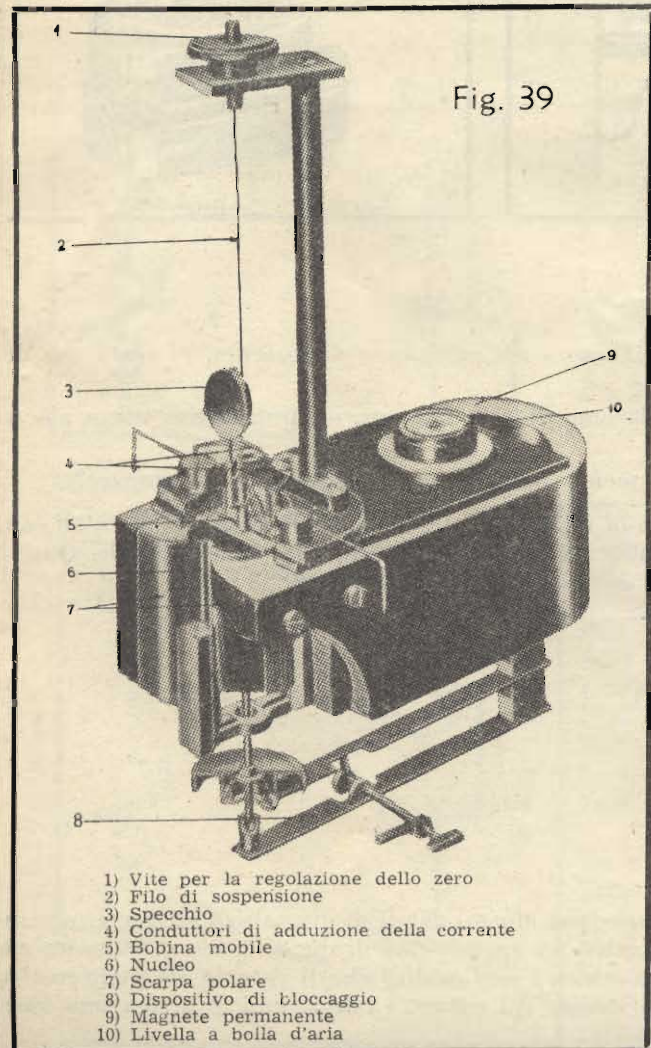



Fig. 39

1) Vite per la regolazione dello zero
2) Filo di sospensione
3) Specchio
4) Conduttori di adduzione della corrente
5) Bobina mobile
6) Nucleo
7) Scarpa polare
8) Dispositivo di bloccaggio
9) Magnete permanente
10) Livella a bolla d'aria

Osserverete subito la somiglianza con lo strumento a bobina mobile che abbiamo visto nella Dispensa N. 4. È visibile facilmente il *sottile filo metallico* al quale sono sospesi la *bobina mobile* e lo *specchietto* che riflette il raggio luminoso.

Sotto alla bobina mobile ed alla calamita si trova il *freno pneumatico* (o smorzatore ad aria), del cui funzionamento abbiamo già parlato trattando degli strumenti a ferro mobile. Lo smorzatore ad aria è importante nei galvanometri a sensibilità elevata, poichè in questo caso la bobina mobile non viene avvolta su di un telaino d'alluminio. Lo strumento è poi dotato del cosiddetto *dispositivo di bloccaggio*, che permette di fissare la bobina mobile e di scaricare il *nastrino di sospensione* durante il trasporto. Questo dispositivo è necessario, poichè, essendo l'equipaggio mobile semplicemente appeso al nastrino, esso potrebbe rimanere danneggiato a seguito di scosse, oppure trovandosi in posizione non verticale. Per questa ragione è montata sul sistema anche *una piccola bolla livellare*, che permette di portare lo strumento a piombo. Se lo strumento non venisse messo a livello, la bobina mobile potrebbe strisciare sul nucleo o sulle espansioni polari e si avrebbero di conseguenza delle misure errate.

Avrete forse notato che, a differenza del comune strumento a bobina mobile, il galvanometro a specchio non possiede molle a spirale. Ricordate sicuramente che le *spiraline* servono a bilanciare la forza di deviazione prodotta dalla corrente fluente nella bobina mobile; solo in tal modo è possibile ottenere una determinata posizione dell'indice per ogni valore della corrente. Nell'antico galvanometro ad ago era il magnetismo terrestre, cioè il campo magnetico naturale della terra, che controbilanciava la forza di deviazione agente sull'ago.

Per questo appunto occorreva orientare lo strumento in modo da far corrispondere il piano della bobina alla

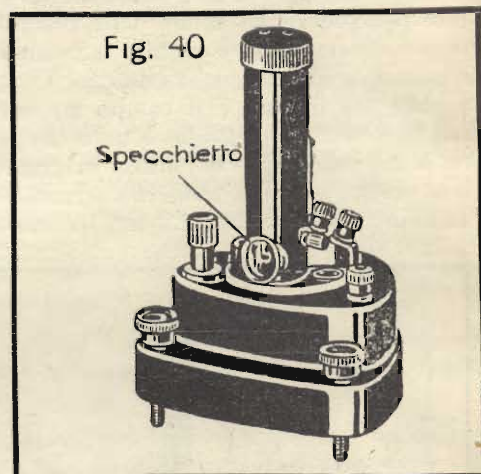
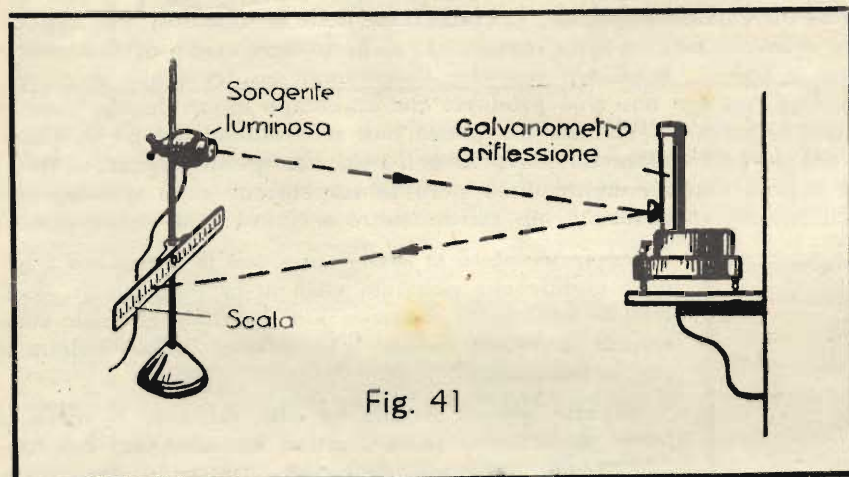
direzione nord-sud; ma questa necessità è scomoda nell'uso. Col galvanometro moderno invece non occorre tener conto della direzione del nord, poichè il debole campo magnetico terrestre è completamente trascurabile in confronto al forte campo della calamita. Naturalmente esiste anche qui una forza antagonista, atta a bilanciare la forza di deviazione, poichè senza questa non sarebbe nemmeno possibile misurare. Essa viene fornita, in questo caso, in mancanza delle spiraline, dalla torsione del nastro di sospensione. Più grande è la forza di deviazione e maggiore diventa la torsione del nastrino e quindi la tendenza a ritornare nella posizione normale. I *conduttori*, attraverso i quali viene addotta la corrente della bobina mobile, non devono esercitare alcuna ulteriore forza; sono quindi generalmente costituiti da un sottilissimo nastrino di oro tenero.

Il campo di misura dei *galvanometri a specchio* è compreso tra circa 0,0001 microampère e 10 microampère. A questo proposito va ricordato che 1 microampère equivale ad appena un milionesimo di ampère: ciò basta per indicare sufficientemente l'*eccezionale sensibilità di questi strumenti.*

La fig. 40 rappresenta in modo schematico la disposizione dell'*apparecchiatura occorrente per l'uso di un galvanometro a specchio.* Con l'aiuto di un *sistema di lenti* un raggio di luce, proveniente da un'apposita sorgente luminosa, viene concentrato sullo specchietto del galvanometro. Da qui il raggio è riflesso su di una *scala graduata*, sistemata in modo che, quando nel galvanometro non passa corrente il raggio cada esattamente sullo zero della scala. Non appena attraverso il galvanometro fluisce una corrente, sia pure assai debole, la traccia luminosa si sposta sulla scala, verso destra o verso sinistra, secondo la direzione della corrente, fermandosi in corrispondenza al valore della corrente stessa.

Nella fig. 41 si vede un tipo di galvanometro a specchio reperibile in commercio. Per finire osserviamo esplicitamente che *i galvanometri servono solo per la misura delle correnti continue.*

Fig. 41

Fig. 40

Domande

1) Che cosa si intende per millivoltmetro?

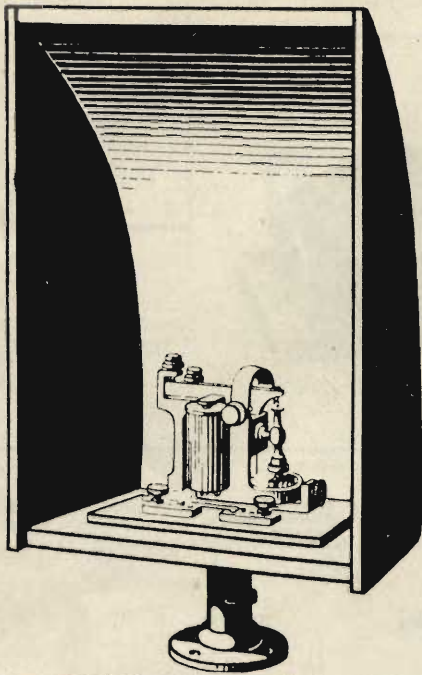
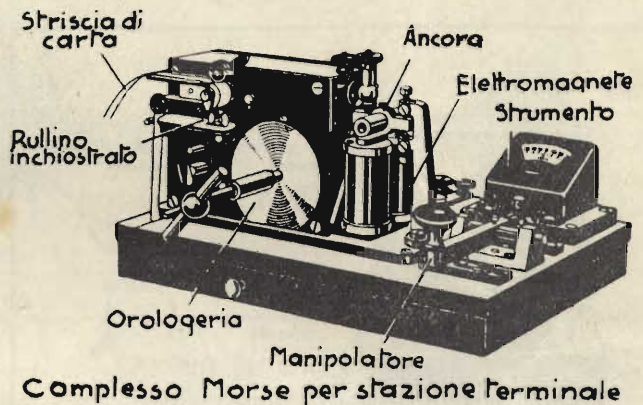
2) Un millivoltmetro ha una resistenza interna di 2 ohm. Usato come misuratore di corrente, presenta una deviazione di 0,01 ampère per ogni divisione.
   a) A quale intensità di corrente corrisponde una deviazione di 150 divisioni, semprechè non esista alcuno shunt?
   b) Che shunt occorre per misurare col medesimo strumento una corrente massima di 150 ampère?

3) Un voltmetro, della portata di 10 volt, va trasformato in modo da poterlo usare per tensioni fino a 50 volt. Da un catalogo è noto che questo strumento presenta una resistenza interna di 1000 ohm per volt. Qual è il valore della resistenza addizionale necessaria per il campo di misura di 50 volt?

IMPIANTI TELEGRAFICI

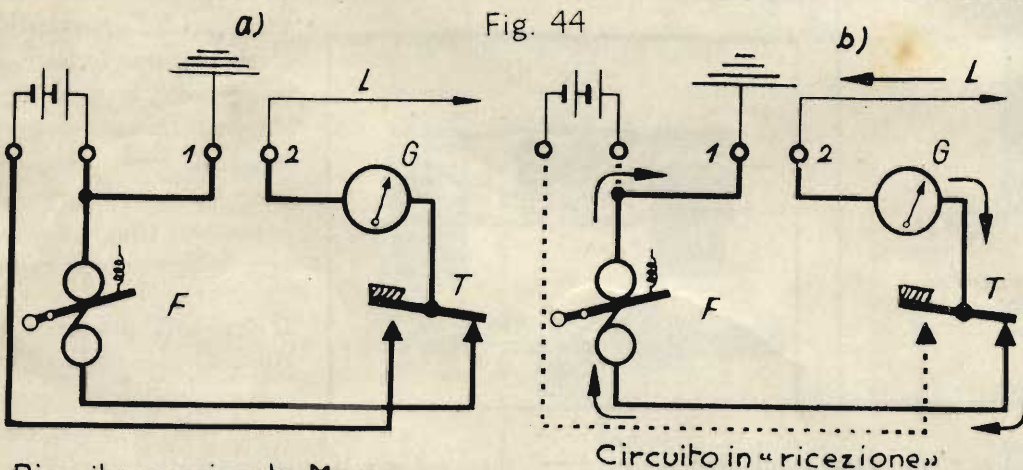
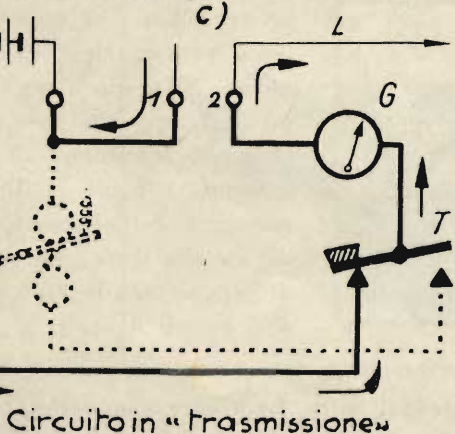
Apparecchiature per la telegrafia Morse

Il ricevitore acustico battente.

Nella telegrafia Morse si usavano, in passato, non solo i *ricevitori Morse*, dotati di dispositivo scrivente, ma anche dei *ricevitori acustici battenti*. Nella fig. 42 è rappresentato un apparecchio di questo genere, sistemato entro un'adatta custodia, aperta anteriormente. Il ricevitore acustico non è altro che il sistema elettromagnetico di un ricevitore Morse, racchiuso entro una custodia amplificatrice del suono. I telegrammi in arrivo sono rice-

Apparecchio Morse non scrivente per ricezione acustica

Complesso Morse per stazione terminale

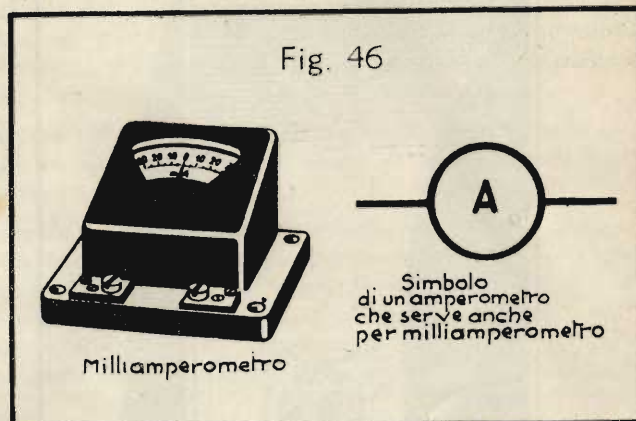
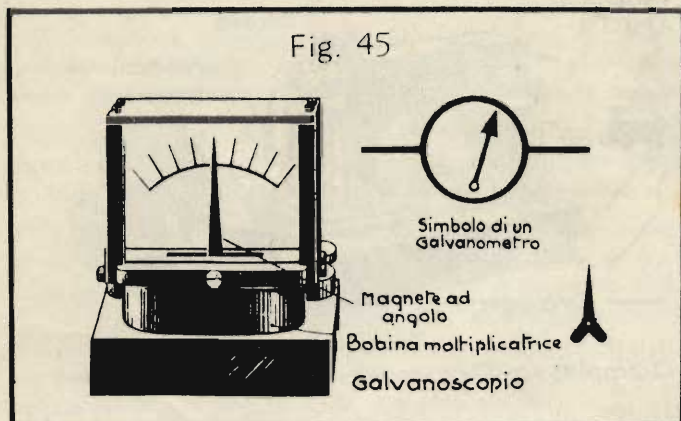
vuti *a orecchio* dal funzionario postale. Un telegrafista esercitato è spesso in grado di ricevere dei messaggi più rapidamente col ricevitore acustico che col telegrafo scrivente Morse.

Il complesso Morse.

L'industria fornisce per le stazioni telegrafiche dei cosiddetti *complessi Morse,* nei quali tutti gli apparecchi occorrenti sono riuniti su di una base comune.

Ricevitore scrivente Morse a inserzione diretta, per corrente di lavoro

La fig. 43 rappresenta uno di questi complessi; si tratta di un ricevitore Morse ad inserzione diretta, per corrente di lavoro. La figura 44-a mostra lo schema di questa apparecchiatura. Il *ricevitore scrivente* è indicato con la sigla *F*, il *manipolatore Morse* con *T*; *G* è lo *strumento indicatore,* del quale parleremo tra breve. Abbiamo qui una cosiddetta *stazione terminale,* cioè *una stazione situata all'inizio oppure alla fine di una linea* (le altre si chiamano *stazioni intermedie*). La corrente telegrafica proveniente dalla linea *L* attraversa il circuito nel senso delle frecce riportate nella fig. 44-b. Quando invece si telegrafa dalla stazione considerata, la corrente segue il percorso indicato nella fig. 44-c.

Nel caso di temporali si possono, per ragioni di sicurezza, collegare direttamente i due morsetti 1 e 2 (fig. 44), in modo da mettere a terra tutto il dispositivo e particolarmente la linea.

Lo *strumento indicatore* contrassegnato nella fig. 44 con *G* è un *galvanoscopio*; esso è visibile anche nella fig. 43, in fondo a destra. Nell'esercizio telegrafico si desidera avere un controllo continuo della corrente circolante nella linea. Il galvanoscopio permette di controllare anche lo stato della linea, poichè, se questa è interrotta, la corrente non passa più, e lo strumento rimane inattivo.

Nei complessi Morse moderni si usano milliamperometri a bobina mobile con zero centrale, ma le apparecchiature più vecchie sono ancora dotate di autentici galvanoscopi. La fig. 45 mostra uno strumento di questo genere, e riporta a fianco il simbolo dello stesso. La bobina situata nella parte inferiore dello strumento si chiama

bobina moltiplicatrice, perchè moltiplica la deviazione dell'indice. Nella fig. 46 si vede invece un milliamperometro usato negli apparecchi moderni, e accanto ad esso ancora il suo simbolo.

Protezione contro le sovratensioni degli impianti telegrafici

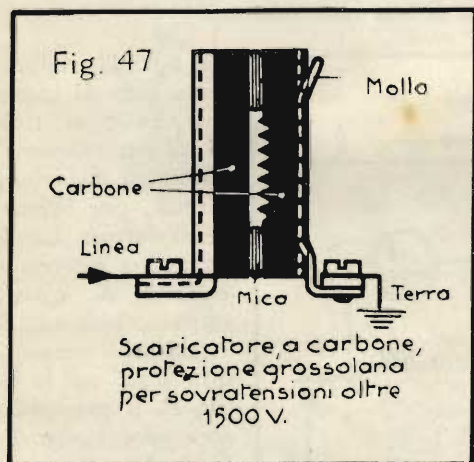
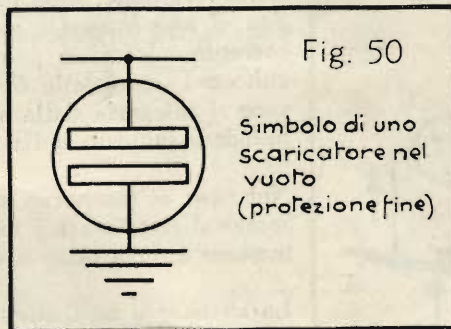
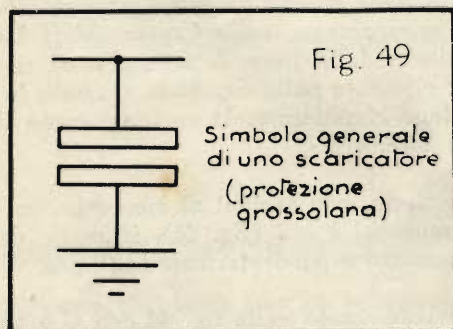
Tutte le linee e le apparecchiature di telecomunicazione vanno protette contro le scariche o, rispettivamente, le cariche atmosferiche.

Non esiste protezione sufficiente contro i fulmini, che colpiscono le linee aeree su palificata; tuttavia è assai importante che almeno le minori scariche o sovratensioni d'origine atmosferica vengano condotte, in modo sicuro, a terra. *Quando una linea aerea si carica per effetto atmosferico, si formano spesso tensioni rilevanti che possono talora arrecare danni.*

Fig. 47

Scaricatore, a carbone, protezione grossolana per sovratensioni oltre 1500 V.

Scaricatore nel vuoto, per sovratensioni oltre 300 V.

L'elettricità atmosferica ad alta tensione stenta ad attraversare le bobine dotate di molte spire e di una elevata induttanza, poichè queste si comportano come impedenze. Però quando l'alta tensione si scarica attraverso tali bobine, esse vengono distrutte con grande facilità. Molti impianti telegrafici, per esempio i ricevitori Morse, contengono alcune di queste grosse bobine, ed occorre pertanto proteggerle convenientemente. Si usano a questo scopo degli *appositi parafulmini*, chiamati *scaricatori di sovratensioni*, i quali facilitano il passaggio dell'elettricità atmosferica alla terra, impedendole di raggiungere le bobine e gli altri organi delicati.

Nella fig. 47 è rappresentato schematicamente uno *scaricatore di sovratensione per protezione grossolana*. Esso è costituito da *due piastre di carbone* con *uno strato isolante intermedio di mica*. Le piastre sono collegate l'una con la linea da proteggere, l'altra con la *terra*. *Una delle due piastre è dentata come una sega*, poichè le punte

favoriscono l'uscita della scarica elettrica. Con uno *scaricatore a carbone* di questo genere si possono condurre, senza danno, a terra tensioni superiori ad un minimo di 1500 volt.

Anche le sovratensioni atmosferiche più piccole possono però essere pericolose per le apparecchiature telegrafiche; oltre alla protezione grossolana occorre quindi anche una *protezione fine*, come quella visibile nella fig. 48. Essa è costituita da due *elettrodi di carbone (o anche di metallo)*, affacciati l'uno all'altro a piccola distanza, e contenuti *in un tubetto di vetro entro il quale è stato fatto il vuoto.* Questi cosiddetti *scaricatori nel vuoto* conducono a terra le sovratensioni superiori a 300 volt. Il simbolo generale per uno scaricatore, e in particolare per una cosiddetta protezione grossolana contro le sovratensioni, è riportato nella figura 49, mentre la fig. 50 rappresenta il simbolo normalizzato di uno scaricatore nel vuoto (protezione fine).

Valvole fusibili.

Negli impianti elettrici si possono talora provocare, a seguito di circostanze disgraziate, dei cosiddetti corti circuiti, i quali possono causare essi pure la distruzione di singole parti. *Come protezione contro i corti circuiti si impiegano le valvole fusibili.*

È noto che la corrente elettrica si manifesta, tra l'altro, per mezzo dei suoi *effetti termici*, sfruttati, per esempio, nelle stufette elettriche, nei ferri da stiro, ecc. *L'effetto termico della corrente si presenta sempre quando in un circuito è inserita una resistenza e la tensione è abbastanza grande per far passare attraverso ad essa una forte intensità di corrente.*

Fig. 54

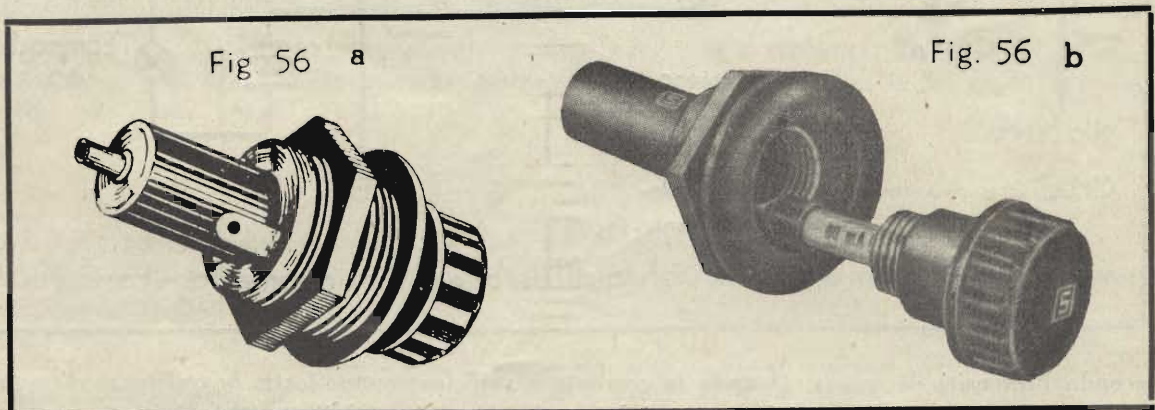
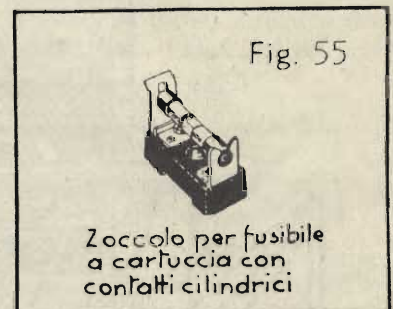
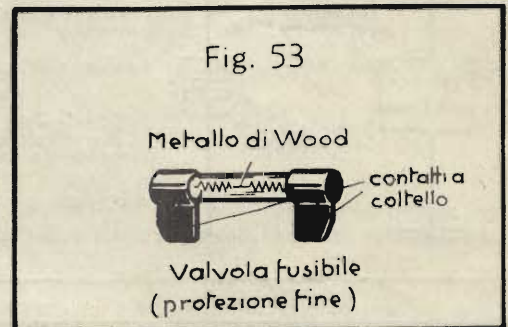
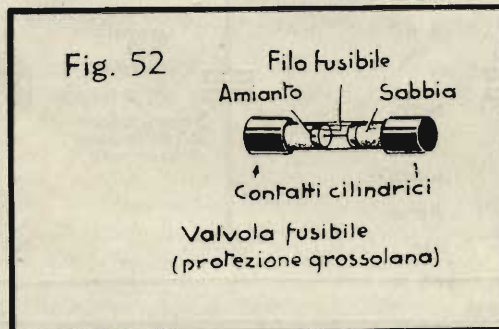
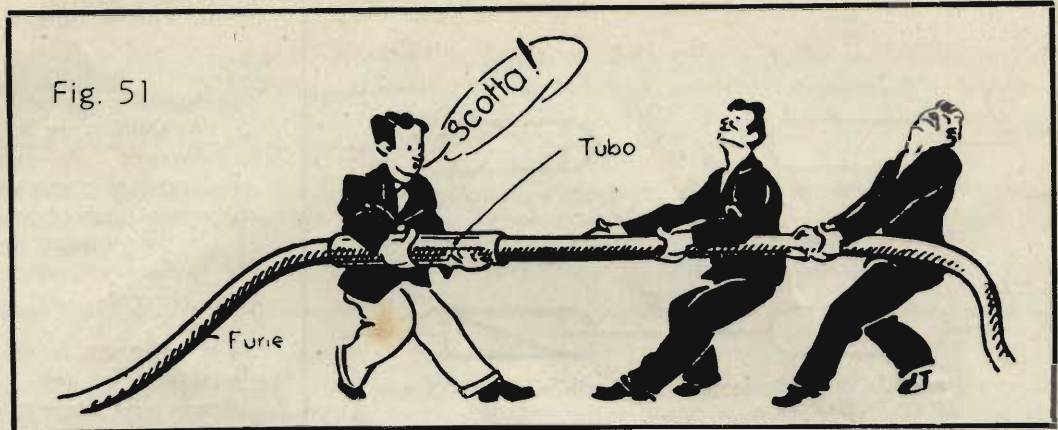
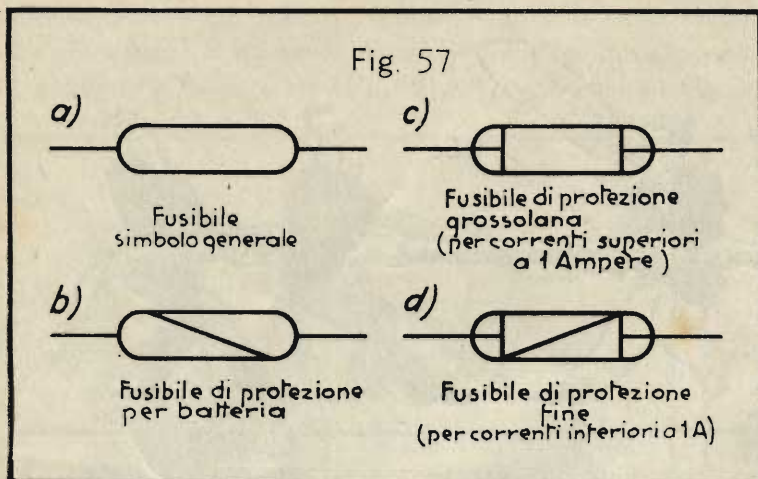
Zoccolo per fusibile a cartuccia con contatti a coltello

Fig. 55

Zoccolo per fusibile a cartuccia con contatti cilindrici

Per facilitare la comprensione del fenomeno facciamo un paragone:

Nella fig. 51 c'è un uomo che tiene in mano un tubo di metallo, attraverso al quale viene fatta scorrere velocemente una fune. Se la fune è grossa, il tubo si riscalderà a causa dell'attrito, fino addirittura a scottare. Ciò avviene, sia nel caso che la fune venga fatta scorrere sempre nella medesima direzione, sia che venga tirata avanti e indietro. Per superare la resistenza opposta dal tubo occorre natural-

mente che la fune venga tirata con forza.

Tutto questo riportato alle condizioni elettriche significa quanto segue. *Il riscaldamento di un conduttore è tanto maggiore, quanto più intensa è la corrente che lo attraversa; non importa a questo proposito che si tratti di corrente continua o alternata. Occorre però che la tensione sia abbastanza elevata* per far passare attraverso la resistenza data una forte corrente.

Se si inserisce in un certo punto, entro una linea elettrica (che presenta una piccola resistenza alla corrente), *un filo sottile, dotato di una resistenza piuttosto forte*, esso, al passaggio della corrente, si riscalda più o meno,

Fig. 59

a) Uscita corrente — Bobina riscaldante — Asse — Leva — Cuscinetto — Entrata corrente — Molle — Contatto aperto — Spazio ripieno di metallo di Wood — Collegamento della bobina riscaldante al cuscinetto — alla terra

Circuito: molla - leva - asse - cuscinetto - bobina riscaldante - uscita

b) Asse — Rocchetto — Leva — Movimento della leva quando fonde il metallo di Wood — A — Perno isolante — B — Isolanti — Molle — Lampadina spia — Terra

Schema di una valvola fusibile a funzionamento ritardato

secondo l'intensità di questa. *Quando la corrente è sufficientemente forte, la resistenza diventa incandescente e alla fine essa fonde.* Su questo fenomeno è basata la costruzione delle valvole fusibili (dette anche semplicemente *i fusibili*), per la protezione degli impianti elettrici.

I fusibili a cartuccia.

Nella tecnica delle telecomunicazioni si usano i cosiddetti *fusibili a cartuccia*, come quello rappresentato nella fig. 52. Il *filo fusibile* è contenuto *in un tubetto di vetro, con le estremità annegate nella sabbia.* Variando il diametro del filo, si può determinare l'intensità di corrente per la quale il filo fonde. Si fabbricano a questo modo *valvole, per la protezione grossolana, fino a 6 ampère.*

Accanto a queste *valvole grossolane* esistono anche le *protezioni fini*, costituite da un *tubetto di vetro* contenente *due mollette unite mediante una goccia di metallo di Wood* (fig. 53). *Il metallo di Wood è una lega speciale che fonde già a 60 gradi.* Non appena la corrente supera circa $\frac{1}{2}$ ampère, il metallo di Wood fonde e le due mollette scattano interrompendo il circuito. Questo fusibile per protezione fine si chiama anche *cartuccia di Bose.*

I fusibili sono dotati di cosiddetti *contatti a coltello*, oppure di *contatti cilindrici* (fig. 52 e 53), per l'inserzione negli appositi zoccoli (fig. 54 e 55). *Per il montaggio negli apparecchi si preferiscono i portafusibili del tipo della fig. 56-a*, che vengono inseriti in un apposito foro del pannello e fissati, stringendoli con un dado da avvitare posteriormente. Con questa disposizione la sostituzione del fusibile dall'esterno è molto facilitata (figura 56-*b*).

I simboli normalizzati dei differenti tipi di fusibili sono riuniti nella fig. 57. Per fusibili principali, come quelli usati per la protezione delle reti di corrente forte, si usa il simbolo della fig. 57-*a*, mentre i fusibili per la *protezione di batterie*, o per le derivazioni, corrispondono alla fig. 57-*b*. I fusibili di *protezione grossolana* e quelli di *protezione fine* sono riportati negli schemi, conformemente alle figg. 57-*c* e 57-*d*.

Nella fig. 58 è mostrato schematicamente in quali punti di una linea telegrafica (o telefonica), e in quale ordine di successione, sono da inserire gli scaricatori ed i fusibili.

I fusibili a tempo.

Per la protezione contro lievi, ma continue correnti eccessive, quali possono essere, per esempio, quelle provocate da un effetto induttivo di linee di corrente forte, adiacenti alla linea di telecomunicazione, si impiegano i cosiddetti *fusibili a tempo* (*o a funzionamento ritardato*).

Un aumento della corrente di breve durata non può causare, generalmente, alcun danno, ma se tale aumento si prolunga per parecchio tempo, le bobine degli apparecchi si riscaldano e finiscono per bruciare.

Per la protezione ritardata si usano nella tecnica delle telecomunicazioni, per esempio, i cosiddetti *fusibili a rocchetto*. Questi sono costituiti da *un tubetto corto ripieno di metallo di Wood e circondato da una bobina riscaldante.* Nella fig. 59-*a* è mostrata la sezione di un fusibile di questo genere. *Nel rocchetto è infilato un asse, dotato di una leva, sulla quale agisce una molla. La bobina riscaldante è collegata da un lato alla linea, dall'altro al cuscinetto nel quale è registrato l'asse. Il collegamento al resto della linea passa poi attraverso l'asse e la molla.*

La fig. 59-*b* rappresenta il fusibile a rocchetto visto di fronte. Quando la corrente perdura troppo forte per un tempo prolungato, la bobina si riscalda, il metallo di Wood si liquefa e la molla tira in basso la leva, poichè l'asse non è più bloccato dal metallo di Wood. La molla, rimasta quindi libera, chiude il contatto nel punto *A*, collegando in tal modo la linea alla terra ed evitando un danneggiamento dell'apparecchiatura.

Spesso i fusibili di questo genere sono dotati anche di una *seconda coppia di molle*, costituenti il contatto *B*, il quale serve per l'allacciamento di un circuito ausiliario con lampadina di segnalazione, per avvertire del guasto avvenuto. Questo *dispositivo d'allarme* è riportato schematicamente nella fig. 59-*b*.

Sempre basati sul medesimo principio, esistono anche i *fusibili a funzionamento ritardato a forma di cartuccia.*

I fusibili a rocchetto possono essere usati nuovamente anche dopo il loro funzionamento. Basta infatti riscaldarli per fondere il metallo di Wood e riportare la levetta nella posizione primitiva; in tal modo il fusibile è nuovamente pronto per l'uso.

Domande

1. A che scopo servono gli strumenti di misura installati nelle apparecchiature telegrafiche?
2. Quali sono i tipi di scaricatori, per la protezione degli impianti di telecomunicazione, che voi conoscete?
3. Qual è il compito dei fusibili a tempo?

Risposte alle domande di pag. 18

1. Un millivoltmetro è uno strumento che permette di misurare i millesimi di volt.
2. *a*) L'intensità di corrente è: 150 . 0,01 = 1,5 ampère.

b) La portata massima di 150 ampère richiede l'allargamento del campo di misura di cento volte, ossia $n = 100$. Il valore dello *shunt* occorrente si ricava dalla formula (23):

$$R_p = \frac{R_i}{n - 1} = \frac{2}{100 - 1} = \frac{2}{99} \; ohm$$

3. Dobbiamo calcolare dapprima la resistenza interna totale. Se per 1 volt si ha una resistenza di 1000 ohm, ciò significa che per 10 volt si hanno 10 . 1000 = 10 000 ohm. Ora, si vuole aumentare di 5 volte il campo di misura. Secondo la formula (21) abbiamo:

$R_s = R_i \,.\, (n - 1) = 10\,000 \,.\, (5 - 1)$; $R_s = 10\,000 \,.\, 4 = 40\,000$ ohm $=$ *40 kOhm* (40 chilo-ohm).

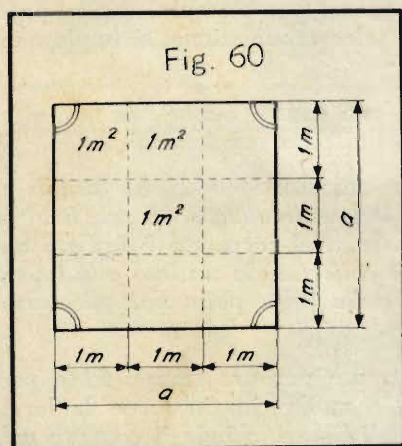
Per l'occasione, calcoliamo rapidamente la corrente che attraversa il voltmetro. In base alla legge di Ohm, essa è:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{1 \text{ volt}}{1000 \text{ ohm}} = 1 \; milliampère$$

MATEMATICA

11. L'estrazione delle radici (continuazione dalla Dispensa N. 5).

La radice quadrata.

Abbiamo già spiegato che cosa sia la radice quadrata: nient'altro che un valore, variabile, generalmente, per ogni numero, che si trova con un'operazione matematica. Vi sarete certamente chiesti perchè questa radice sia quadrata; non basta parlare di radice? Effettivamente, quando si dice soltanto radice, si intende la radice quadrata, e vi spiegheremo ora perchè questa si chiami così.

Voi sapete che cos'è un quadrato, e sapete che l'area di un quadrato, il cui lato equivale, per esempio, a 3, è uguale a 3 . 3 ossia a 3^2 (fig. 60). 3^2 si legge: *tre alla seconda potenza*, oppure, *perchè indica l'area di un quadrato, tre al quadrato.* Per questo, invece di: *moltiplicare un numero per se stesso*, si dice anche: *elevare un numero al quadrato.*

Ecco alcuni esempi di *elevazione al quadrato*:

$3^2 = 3 \,.\, 3 = 9$; $5^2 = 5 \,.\, 5 = 25$; $10^2 = 10 \,.\, 10 = 100$

L'operazione inversa dell'elevazione al quadrato è l'estrazione della radice quadrata. Quando si scrive per esempio $\sqrt{9}$, ciò significa che si deve *estrarre la radice di 9*; in altre parole, si chiede: *qual è il numero che, elevato al quadrato, dà 9?* Sappiamo che questo numero è 3; infatti 3 . 3 = 9. Quindi $\sqrt{9} = 3$; $\sqrt{25} = 5$; $\sqrt{100} = 10$.

Queste radici si chiamano radici quadrate, perchè si cerca il numero che, elevato al quadrato, equivale al numero posto sotto al segno di radice. Imparerete in seguito che esistono anche altre radici, ma queste sono contraddistinte in un modo particolare. *Quando si parla semplicemente di radice e si usa il segno* $\sqrt{\ }$, *si tratta sempre della radice quadrata.*

Negli esempi precedenti l'estrazione della radice era assai facile. Chi conosce bene la tavola pitagorica, sa scrivere subito il risultato. Nei casi più difficili ci si può servire della tabella riportata in fondo alla Dispensa N. 5: con la quale vi siete già esercitati.

Questa tabella contiene le radici di tutti i numeri da 1 a 99, inoltre le radici dei numeri tondi 100, 110, 120 ecc. fino a 1000. Quando si deve estrarre la radice di un numero qualsiasi, che non sia uno di questi numeri tondi, si può stimarne il valore con sufficiente esattezza basandosi sulle radici dei numeri tondi, come vedrete subito.

Nei calcoli tecnici non occorre generalmente una grandissima precisione. Per questa ragione non si deve quasi mai tener conto della terza cifra decimale nella Tabella delle Radici. Per esempio, nella quasi totalità dei calcoli è del tutto sufficiente se si scrive $\sqrt{540} = 23{,}24$. In moltissimi casi basta addirittura scrivere 23,2. Se quindi si cerca per esempio $\sqrt{545}$, si sa che questo valore deve trovarsi a metà tra $\sqrt{540}$ e $\sqrt{550}$, quindi tra 23,24 e 23,45. La distanza tra questi due numeri è 0,21, la metà è circa 0,10. Quindi $\sqrt{545} = 23{,}24 + 0{,}10 = 23{,}34$.

A questo modo, basandosi sulle radici dei numeri tondi contigui, è facile trovare una buona approssimazione per qualsiasi radice. Si dice allora che si è compiuta una *interpolazione* e che la radice cercata è stata determinata interpolando la Tabella delle Radici. Può darsi che con questo sistema il valore trovato non riesca completamente esatto, ma ciò non ha importanza, tanto più che si può sempre controllare l'esattezza della radice moltiplicandola per se stessa, come è stato spiegato nella Dispensa N. 5.

Come si fa a estrarre la radice dei *numeri maggiori di 1000*, che non sono più contenuti nella tabella? Anche ciò è possibile, servendosi della

Regola 14: *Per trovare la radice dei numeri maggiori di 1000 si separano con la virgola, a destra, 2 o 4 o 6 cifre (sempre un numero pari di cifre), finchè si ottiene un numero contenuto nella Tabella. Da questo si estrae la radice per mezzo della Tabella e la si moltiplica per 10 oppure per 100 oppure per 1000, secondo che prima siano state separate 2 oppure 4 oppure 6 cifre.*

Per controllare se la virgola è stata messa al giusto posto, basta tener presente che la radice di un numero di 1 o 2 cifre è sempre un numero di 1 cifra; quella di un numero di 3 o 4 cifre è sempre un numero di 2 cifre; quella di un numero di 5 o 6 cifre è sempre un numero di 3 cifre; e quella di un numero di 7 o 8 cifre è sempre un numero di 4 cifre (non contando i decimali).

Problema 1: $\sqrt{47\,000} = ?$

Soluzione: Separiamo due cifre. Il problema diventa: $\sqrt{470} = ?$

In base alla Tabella della Dispensa N. 5 si ottiene $\sqrt{470} = 21{,}68$. Questo valore va ancora moltiplicato per 10, perchè prima abbiamo separato due cifre. Quindi: $\sqrt{47\,000} = 216{,}8$.

In questo problema si trattava di trovare la radice di un numero di 5 cifre. Il risultato deve essere quindi di 3 cifre (non contando i decimali), ossia la virgola deve trovarsi dopo la terza cifra. Il risultato deve essere quindi 216,8; non può essere nè 21,68 nè 2168.

Problema 2: $\sqrt{4\,700} = ?$

Soluzione: Anche qui si separano due cifre. Secondo la Tabella, $\sqrt{47} = 6{,}856$. Questo valore va moltiplicato per 10, e si ottiene $\sqrt{4\,700} = 68{,}56$.

Osservazione: L'esattezza della regola sopra riportata è evidente, se si considera quanto segue: 47 000 è la medesima cosa come 100 . 47. Quindi $\sqrt{47\,000}$ equivale a $\sqrt{100 \cdot 470}$, ossia $\sqrt{47\,000} = \sqrt{100} \cdot \sqrt{470}$. Ora $\sqrt{100}$ è uguale a 10, e quindi $\sqrt{47\,000} = 10 \cdot \sqrt{470}$. È dimostrato così che si ottiene la radice di 47 000 moltiplicando per 10 la radice di 470. Per la medesima ragione è esatto scrivere:

$\sqrt{4\,700} = 10 \cdot \sqrt{47}$; $\sqrt{470\,000} = 100 \cdot \sqrt{47}$; $\sqrt{4\,700\,000} = 100 \cdot \sqrt{470}$.

Risposte alle domande di pag. 23

1. Gli strumenti di misura inseriti nelle linee telegrafiche servono a controllare costantemente le correnti circolanti nelle linee e quindi anche lo stato delle linee.

2. Esistono scaricatori a carbone come protezione grossolana e scaricatori nel vuoto come protezione fine contro le sovratensioni.

3. I fusibili a tempo servono come protezione contro gli aumenti di corrente di lieve entità ma prolungati. Essi non interrompono il circuito immediatamente, ma solo dopo un certo tempo.

LA NATURA DELL'ELETTRICITÀ

Nella precedente Dispensa vi abbiamo esposto, sotto questo titolo, alcune nozioni generali sulla natura e la costituzione della materia. Apprenderete ora maggiori particolari sugli elettroni ed avrete la spiegazione di alcuni fenomeni elettrici, considerati dal punto di vista della teoria elettronica.

Le particelle costitutive della materia

Fin dagli inizi della chimica scientifica si sapeva che la maggioranza delle sostanze può essere separata, per via chimica, in vari componenti completamente diversi. Le sostanze che, invece, non possono essere ulteriormente separate coi mezzi della chimica, si chiamano *sostanze elementari* o *elementi*. Sono per esempio elementi il *rame*, il *ferro*, il *carbonio*, lo *zolfo*, l'*ossigeno*, ecc. Questi elementi sono costituiti da *atomi*. Gli atomi di un medesimo elemento sono tutti eguali, mentre gli atomi di elementi diversi hanno caratteristiche differenti, per esempio il *peso*.

Le *sostanze composte*, cioè non elementari, come l'*acqua*, l'*acido solforico*, ecc., *sono formate dall'unione di vari elementi* e sono costituite da uno o più atomi di questi elementi, che si raggruppano assieme a formare una minuscola quantità di sostanza composta, ossia una *molecola*. Così, per esempio, *nella combustione dello zolfo si uniscono sempre un atomo di zolfo con due atomi d'ossigeno, formando una molecola di anidride solforica*, un gas dall'odore pungente. Le molecole sono effettivamente le maggiori *particelle* costituenti la materia. Si è trovato, anzi, che *anche nella maggior parte degli elementi gli atomi si uniscono sempre a due o più per volta, formando una molecola*, che, in questo caso, risulta costituita da atomi del medesimo elemento. Gli atomi e le molecole non sono mai completamente immobili, ma si spostano con movimenti irregolari.

Nella Dispensa precedente abbiamo visto che l'*atomo* è costituito da un *nucleo positivo* e dagli *elettroni* ruotanti attorno ad esso. Il nucleo contiene *protoni* (positivi) e *neutroni* (neutri). Le cariche, positiva del nucleo e negativa degli elettroni, generalmente si compensano a vicenda nell'ambito dell'atomo.

Gli elettroni liberi.

Se guardiamo di nuovo col nostro immaginario « microscopio speciale », di cui ci siamo serviti nell'ultima Dispensa, nell'interno del filo di rame, notiamo che non tutti gli elettroni si muovono sulle stesse traiettorie. Ci sono elettroni che ruotano vicini al nucleo, altri che si spostano su orbite molto lontane. Ci sono però anche molti elettroni che ruotano tutti seguendo la medesima orbita. E infine scorgiamo delle piccolissime particelle, che si aggirano tra gli atomi senza ruotare costantemente attorno al medesimo nucleo, ma volando, ora qua ora là, attraverso ai vari sistemi planetari, con un moto del tutto disordinato, come uno sciame di moscerini, e compiendo i singoli balzi, da un punto all'altro, con la velocità di molti chilometri al secondo. Queste piccole particelle sono *elettroni liberi.*

C'è una quantità di sostanze nelle quali gli elettroni si liberano con facilità dai vincoli atomici. Si tratta in primo luogo dei metalli, che posseggono una quantità rilevante di elettroni. *Quando un atomo, che era dapprima elettricamente neutro, perde uno o più elettroni, esso diventa positivo. Accade poi anche che certi atomi catturino qualche elettrone in più di quelli, che normalmente possiedono, e allora diventano elettricamente negativi.* Gli atomi, elettricamente non neutri, che si formano a codesto modo si chiamano *ioni.* Quando un atomo diventa uno ione si dice che esso si ionizza.

Moto degli elettroni sotto l'influenza di una sorgente di tensione.

Quando inseriamo *la corrente*, cioè inviamo nel filo l'elettricità prelevata da una batteria, facciamo una sorprendente scoperta. È vero che *i movimenti disordinati degli elettroni rimangono; però a questi movimenti si aggiunge un moto uniforme*: l'intiero sciame dei moscerini si mette a spostarsi lungo il filo, come se qualcuno lo spingesse. L'effetto della batteria è dunque questo spostamento dello sciame: *l'elettricità stessa non è che questo spostamento.*

Ci sono molti elettroni liberi che, colpendo un atomo, rimangono legati ad esso; altrettanti però sono quelli che riescono, nel medesimo tempo, a sfuggire all'atomo, che li tratteneva, ed a mettersi a guizzare attorno liberamente.

Indovinate ora qual è *la velocità con la quale gli elettroni si spostano sotto l'influenza della batteria*? « 300 000 chilometri al secondo »! direte subito: « è questa infatti la pazzesca velocità dell'elettricità ». Sbagliato! Lo sciame degli elettroni si sposta invece molto lentamente: più lentamente di una lumaca, malgrado la gigantesca velocità con la quale gli elettroni compiono la loro danza a zig-zag. *Lo spostamento dello sciame di elettroni è soltanto di pochi millimetri o frazioni di millimetro al secondo.* Vedremo in seguito da che cosa dipenda questa velocità.

Interrompiamo la corrente. Che rimane? Abbiamo ancora atomi ed elettroni nel filo, come se non fosse successo proprio niente. Che ha fatto dunque la nostra sorgente di corrente? Non ha fatto niente altro che spostare lo sciame di moscerini, nè più nè meno. Non ha *prodotto* elettroni; ha soltanto causato un *moto* degli elettroni; non ha generato nulla, ha solo effettuato un lavoro.

Come è dunque possibile, dato questo spostamento così sorprendentemente lento degli elettroni, che si telegrafi e si trasmettano notizie attraverso ai fili con velocità fulminea?

Non sono gli elettroni che si spostano come razzi lungo i fili; è solamente la *pressione.* Se l'acquedotto raddoppiasse improvvisamente la pressione con la quale spinge l'acqua nelle tubazioni delle nostre case, questa pressione si propagherebbe velocissima per le tubazioni, molto più celermente di quanto scorra l'acqua stessa.

Le particelle d'acqua possono anche spostarsi solo per un piccolissimo tratto, eppure il colpo è immediatamente percettibile all'estremità della tubazione. Ora l'acquedotto deve spingere qualcosa di pesante e di inerte come l'acqua, mentre la sorgente di corrente elettrica fa muovere soltanto le minuscole particelle elementari, gli elettroni, lungo le maglie larghe e rade, che costituiscono i nostri fili di rame. Quando essa comincia a *soffiare* da un lato e a succhiare dall'altro, ogni elettrone viene spinto e tirato nel medesimo tempo.

Quando si parla di *elettroni liberi,* sembrerebbe che queste minuscole particelle non avessero alcun rapporto con la sostanza nella quale sono contenuti. Eppure ognuno di questi elettroni è un componente essenziale del filo e dei suoi atomi.

La costituzione degli atomi di un filo di rame è molto più complessa di quella dell'atomo d'idrogeno, di cui abbiamo già parlato. Il nucleo è composto da 35 neutroni e 29 protoni e attorno ad esso ruotano 29 elettroni, distribuiti su varie orbite, più o meno vicine al nucleo. Gli elettroni dell'orbita più esterna hanno una certa tendenza all'*autonomia. Accade così che, a volte, uno di questi elettroni si liberi e vada poi aggirandosi tra gli atomi fino ad incontrare per caso un atomo al quale sia appena sfuggito un elettrone.*

Dunque *se un elettrone abbandona il suo atomo, varia la costituzione di questo.* Non è ciò una specie di disintegrazione o trasformazione dell'atomo?

Non si può negare che la perdita di un elettrone modifichi l'atomo. Anzitutto c'è un cambiamento elettrico, poichè un atomo che ha perso un elettrone possiede una carica positiva di troppo e risulta quindi elettricamente positivo. Possiamo quindi dire che:

La carica positiva è dovuta a mancanza di elettroni.

La fuga di un elettrone non è del resto, per l'atomo, altro che uno stimolo a ricompletarsi al più presto, catturando un altro elettrone. A parte ciò, *la perdita di un elettrone non significa nulla, poichè solo quando viene intaccato anche il nucleo e ne vengono tolti dei protoni, l'atomo perde la forza di attrarre tanti elettroni quanti ne possedeva in precedenza. E solo allora l'atomo diventa un altro.*

Conduttori e non conduttori dell'elettricità.

Gli elettroni *liberi* sono, per così dire, i vagabondi del mondo atomico. Ora, esistono atomi che tengono ben legati tutti i membri della loro famiglia e non permettono loro una simile vita zingaresca. Sono gli atomi « per bene », dalle buone tradizioni familiari. Gli altri sono invece i vagabondi, i « pocodibuono ». Ci sono poi, naturalmente, anche quelli che non si contano nè tra gli uni, nè tra gli altri, e che chiudono ogni tanto un occhio e lasciano un po' di libertà ai loro elettroni. I vagabondi sono i metalli. Uno di quelli della peggior risma è l'atomo di rame. E per questo il filo di rame è un così eccellente e ricercato conduttore della corrente elettrica.

Perchè un corpo sia buon conduttore, occorre che possegga un gran numero di elettroni liberi. Sappiamo che nel rame il numero degli elettroni liberi uguaglia all'incirca il numero degli atomi, mentre nelle altre sostanze gli elettroni sono molto meno liberi e quindi la conducibilità è meno buona.

Il contrario di un buon conduttore è un isolante. *Negli isolanti non esistono elettroni liberi. Il miglior isolante è naturalmente il vuoto, nel quale non si trovano atomi nè elettroni; ma purtroppo questo isolante non esiste che relativamente, perchè è impossibile fare il vuoto assoluto.*

Tra gli isolanti e i conduttori ci sono i *conduttori mediocri* e i *cattivi conduttori*. Anche questi hanno la loro ragione di essere: *servono come resistenze*, cioè come *freni per gli elettroni.*

Ora che sapete che gli elettroni si spostano lungo il filo, vi chiederete anche che cosa avvenga quando il filo, a un certo punto, diviene più sottile o più grosso. Vi passano allora meno o più elettroni? Oppure diventano più rapidi o più lenti? Gli elettroni si comportano nell'identica maniera come le particelle d'acqua in una conduttura. Se la sezione di un canale diventa più stretta, le particelle d'acqua sono obbligate a scorrere più velocemente. Così anche *gli elettroni si spostano lentamente nei fili di grossa sezione e sono costretti a scorrere più velocemente dove il filo diventa più sottile, come per esempio nel sottilissimo filamento di una lampadina.* Ritornando poi nel filo grosso, gli elettroni diventano subito più lenti.

La produzione elettrica di calore spiegata con la teoria degli elettroni.

Quando una sorgente di corrente continua sospinge la massa degli elettroni attraverso ai fili, imprime a questo sciame di particelle in movimento disordinato una determinata, se pur piccola, velocità media. Se ora *si raddoppia la tensione*, che cosa succede? Si è tentati di supporre che allora si liberino ancor più elettroni dalla sostanza metallica, per immettersi nella corrente. In verità la cosa è diversa: *il numero di elettroni rimane inalterato, ma essi si spostano con la velocità doppia. E se aumentiamo la tensione di dieci volte, lo « sciame di moscerini » si sposterà dieci volte più presto.*

Ma questa ipotesi non è in contraddizione con la legge, tante volte dimostrata, per cui l'intensità di corrente è uguale in tutti i punti di un circuito? No, perchè l'intensità di corrente non dipende dalla quantità di elettroni presenti, ma dal numero di elettroni che passano in un punto qualsiasi del filo in un dato tempo, per esempio in un secondo. Quello che importa è dunque il tempo. Supponiamo, per esempio, che in ogni secondo passino 100 elettroni attraverso la sezione del nostro filo. In questo caso non ha alcuna importanza se ogni centesimo di secondo ne passa uno a gran velocità, oppure se ne passano cento tutti assieme, lentamente, in un secondo.

Qualcuno potrebbe ancora osservare: il fatto che il filo si riscaldi maggiormente nel punto ove è più sottile, non dimostra che esso è percorso in quel punto da un maggior numero di elettroni? Possiamo immaginare che il flusso di elettroni, passando dal grosso filo della linea al filo sottilissimo di una lampadina, venga addirittura compresso e che per questo si sviluppi calore.

La scienza invece ci insegna che, *nel filo, gli elettroni cozzano continuamente contro gli atomi.* Ciò frena fortemente la loro velocità, allo stesso modo con cui una corente d'aria, in una tubazione, viene frenata da un filtro inserito nella stessa. È solo questo *effetto frenante* a impedire che gli elettroni si spostino con quella velocità enorme, che sappiamo essere propria dell'elettricità. *Frenando si sviluppa calore*, e ciò avviene anche nel filo percorso dalla corrente. È evidente che questo calore sarà tanto maggiore, quanto più velocemente saranno sospinti gli elettroni. *Aumentando la pressione, il filo si riscalda al punto da diventare incandescente e da fondersi* (per esempio nelle *valvole fusibili*).

La storia degli elettroni sembra un po' una favola del paese delle meraviglie. Eppure è soltanto questa teoria, chiamata « elettronica », che permette di spiegare tanti fenomeni, particolarmente della radiotecnica. L'elettronica viene applicata in pratica nelle valvole radio, nei tubi a raggi catodici, nel microscopio elettronico, nella televisione, ecc. Sarà certamente assai utile, se ci dedicheremo un po' più profondamente a questo interessantissimo ramo della tecnica.

COMPITI

1. Che cos'è un altoparlante « magnetodinamico »?

2. Come si chiamano le resistenze, che vengono aggiunte ad uno strumento di misura, per allargarne il campo di misura,

   a) negli amperometri?

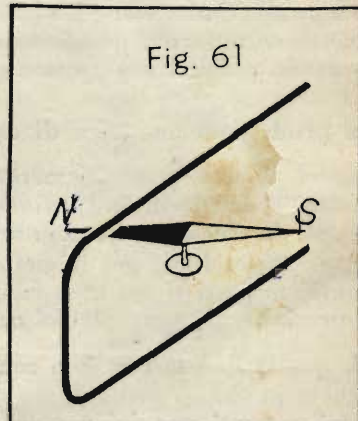
   b) nei voltmetri?

3. Uno strumento a bobina mobile, con una resistenza interna di 2 ohm, ha una portata di 0,25 volt. Quale resistenza addizionale occorre per poter misurare 25 volt?

4. Un milliamperometro, la cui resistenza interna è di 1,4 ohm, deve servire per misurare 150 milliampère. Senza shunt lo strumento ha la portata di 10 milliampère. Che valore deve avere lo shunt?

5. Disegnate la direzione della corrente nella spira della fig. 61, affinchè l'ago subisca la deviazione rappresentatavi.

Fig. 61

N S

6. A quale tipo di valvola appartengono i fusibili a rocchetto?

7. *a)* $5x + 7x + 8 = 44; \quad x = ?$

   b) $13x — 8x — 16 = 39; \quad x = ?$

   c) $60x + 7 — 14x + 23 = 36 + 50; \quad x = ?$

8. $4 . (18 — 2x) = 20x — (11x — 4); \quad x = ?$

9. *a)* $\sqrt{333} = ?$ *b)* $\sqrt{225} = ?$ *c)* $\sqrt{6\,400} = ?$ *d)* $\sqrt{7\,900\,000} = ?$

FORMULE CONTENUTE NELLA DISPENSA N. 8

Formula

(21) Resistenza addizionale $R_s = R_i \cdot (n - 1)$ . . . . . Pag. 10

(22) Rapporto di due resistenze in parallelo:
$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ oppure $\frac{I_1}{I_2} = \frac{G_1}{G_2}$ . . . . „ 12

(23) Resistenza in derivazione: $R_p = \frac{R_i}{n - 1}$ . . . . . . „ 12

DISPENSA N°. 9

CORSO DI TECNICA DELLE

TELECOMUNICAZIONI

IN PARTICOLARE DI RADIOTECNICA

ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA

INDICE DELLE MATERIE DELLA DISPENSA N. 9

Riassunto della materia trattata nella Dispensa precedente . Pag. 1

Radiotecnica . . . . „ 1
Il tubo elettronico . . . . „ 1
I fenomeni fisici dei tubi elettronici . . . . „ 2
Il tubo elettronico dotato di griglia . . . . „ 3
Il collegamento della batteria di griglia . . . . „ 4
La batteria combinata di placca e di griglia . . . . . „ 5
Forme costruttive delle valvole termoioniche . . . . . „ 5
Domande . . . . „ 7

Matematica . . . . „ 7
La radice cubica . . . . „ 7
Radici superiori . . . . „ 9

Telefonia . . . . „ 9
Impianti telefonici a « inserzione diretta » . . . . . . „ 9
Simboli importanti . . . . „ 9
Apparecchi telefonici con tasto d'inserzione nell'impugnatura „ 10
La comunicazione telefonica . . . . „ 10
Circuiti di chiamata e circuiti telefonici . . . . . . „ 10
Apparecchi telefonici con gancio di commutazione . . . „ 11
Gli attacchi delle stazioni telefoniche . . . . „ 11
Ganci e forcelle di commutazione . . . . „ 11
Impianti telefonici a « inserzione indiretta » . . . . . . „ 13
Domande . . . . „ 14

Matematica . . . . „ 14
Rapporti e proporzioni . . . . „ 14

Telefonia . . . . „ 15
L'induttore a manovella . . . . „ 15
La generazione magnetoelettrica di tensione . . . . . . „ 16
La regola della mano destra . . . . „ 18
Il generatore magnetoelettrico (dinamo) . . . . „ 18
Domande . . . . „ 21

Elettrotecnica generale . . . . „ 21
Calcolo di resistenze . . . . „ 21
Dipendenza delle resistenze dalla temperatura . . . . . „ 24

Compiti . . . . „ 27

CORSO DI TECNICA DELLE
TELECOMUNICAZIONI - RADIO

A CURA DELL'ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA | Dispensa N. 9

RIASSUNTO DELLA MATERIA TRATTATA NELLA DISPENSA PRECEDENTE

In una precedente Dispensa è stata descritta la costituzione dell'orecchio tecnico; nella Dispensa N. 8 siamo passati invece all'importante ed interessante campo degli *altoparlanti*. A questo proposito avete appreso che esistono due grandi gruppi di altoparlanti: quelli *magnetici* e quelli *dinamici*. Del primo gruppo avete conosciuto gli altoparlanti a megafono, quelli a superficie vibrante estesa, i sistemi a due e a quattro poli e il sistema a oscillazione libera. In relazione agli altoparlanti dinamici avete conosciuto l'importanza dei magneti *a vaso* e di un tipo di altoparlante particolarmente semplice, l'altoparlante a magnete permanente.

Nella Dispensa N. 7 avete appreso varie nozioni sulla natura dell'elettricità, che sono state ampliate nella Dispensa N. 8. Avete studiato sicuramente con interesse la descrizione di alcuni fenomeni elettrici, dal punto di vista della teoria elettronica, allargando così, in maniera piacevole, le vostre cognizioni generali sulla costituzione della materia. Vedrete in seguito che, nella tecnica delle alte frequenze, sono indispensabili buone cognizioni della teoria degli elettroni.

Nel Capitolo sulla *Tecnica delle misure* è proseguita la descrizione degli strumenti a bobina mobile e vi è stato mostrato che questi servono anche per la misura delle tensioni. Avete appreso il modo di allargare il campo di misura mediante inserzione di resistenze; si tratta di un accorgimento indispensabile, data l'elevata sensibilità degli strumenti a bobina mobile, per cui questi, da soli, sono adatti solamente per misurare valori assai piccoli. Le espressioni di: « *resistenza addizionale* » e di « *derivatore* » o « *shunt* » vi sono ormai familiari.

Alla fine del Capitolo seguiva una descrizione dei vecchi strumenti ad ago, il galvanoscopio ed il galvanometro ad ago, dal quale deriva il galvanometro a specchio, frequentemente usato in pratica.

Nel campo della *Telegrafia* vi sono stati descritti alcuni importanti apparecchi usati nella telegrafia Morse: il ricevitore acustico, che consente solamente la ricezione ad orecchio, e il complesso Morse, nel quale su di una unica piastra base sono riuniti tutti gli strumenti necessari per telegrafare. In relazione a queste apparecchiature siamo passati a parlare della protezione contro le sovratensioni, questione importantissima nell'interesse della conservazione degli impianti e della sicurezza d'esercizio.

Abbiamo trattato di *scaricatori a carbone*, *scaricatori nel vuoto* e infine dei *fusibili*, che costituiscono la protezione contro i corti circuiti. Avete così conosciuto i *fusibili a cartuccia* e i *fusibili a tempo*, entrambi utilizzati nella tecnica delle telecomunicazioni.

Nella *Matematica* abbiamo proceduto nel campo delle equazioni e ci siamo rivolti infine nuovamente alle radici quadrate.

Anche la precedente Dispensa recava dunque molte cose nuove e interessanti, contribuendo a far sì che continuiate lo studio con piacere inalterato.

RADIOTECNICA

Il tubo elettronico

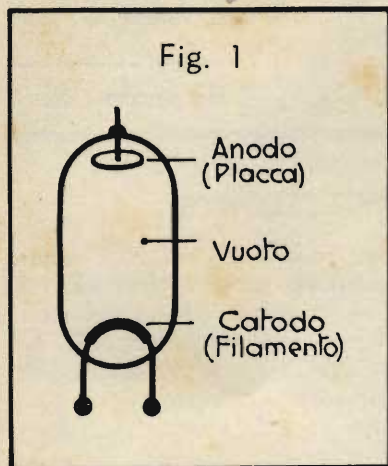
Il tubo elettronico costituisce una delle parti più importanti utilizzate nella radiotecnica. Sono solo i tubi elettronici che hanno reso possibile lo sviluppo di tutta la moderna tecnica dell'alta frequenza; l'elettrotecnica moderna non può più farne a meno.

Osservando l'interno di un apparecchio radio, avete notato come prima cosa i tubi elettronici. Forse voi li chiamate ancora « *lampadine* » o « *lampade-radio* ». Una parola migliore è « *valvole* »: la denominazione esatta però è « *tubi elettronici* »; giusta è, tuttavia, anche quella di « *valvole termoioniche* », denominazione che spiegheremo in seguito. I *tubi elettronici* sono usati non solo *negli apparecchi riceventi*, ma anche *nelle stazioni trasmittenti*, *negli amplificatori* e perfino *in una quantità di apparecchi di comando o di regolazione automatica* impiegati nella tecnica delle correnti forti. Stiamo dunque iniziando la trattazione di un campo straordinariamente importante; voi stesso ne siete sicuramente convinto.

Nelle due precedenti Dispense è già stata trattata la teoria degli elettroni. Sentendo parlare di « *tubi elettronici* », si forma già nella vostra mente l'immagine degli elettroni guizzanti; ed è bene sia così, poichè altrimenti non potreste comprendere completament il funzionamento dei tubi elettronici in parola.

Inoltriamoci dunque passo passo in questo nuovo, e, vorremmo dire, meraviglioso campo della tecnica. Seguiteci bene e non sorvolate una sola riga.

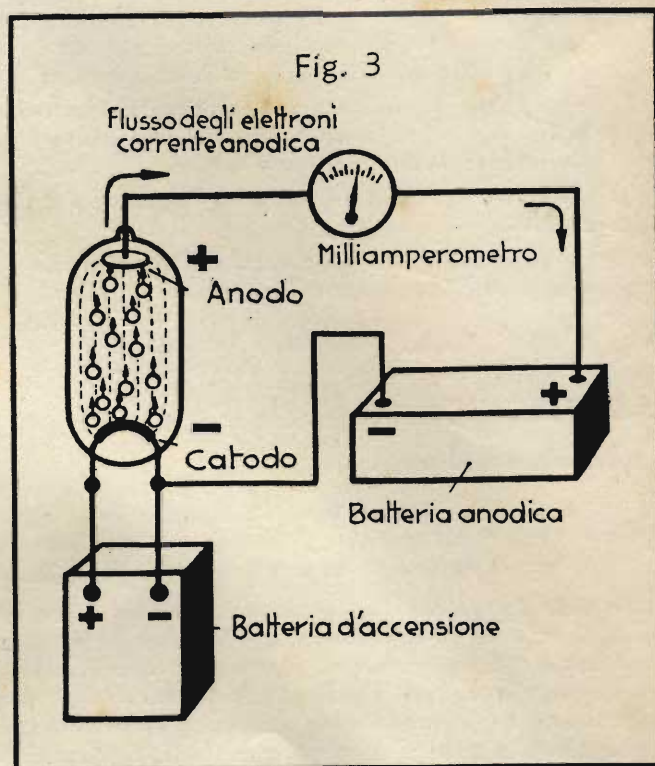
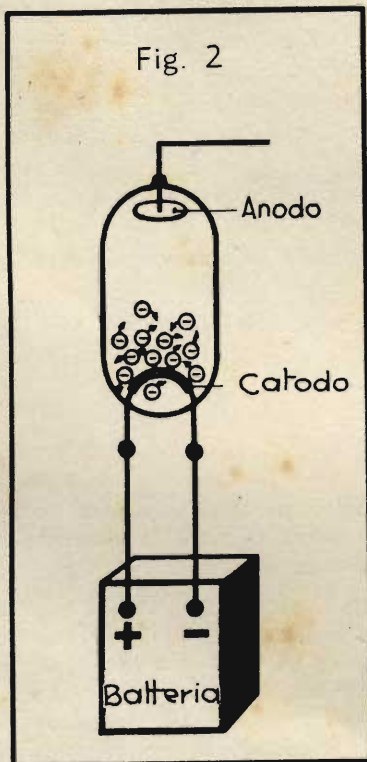
I fenomeni fisici dei tubi elettronici

Il *tubo elettronico* è costituito, in primo luogo, da *un recipiente di vetro di forma tubolare*, dall'interno del quale è stata estratta l'aria. Nel tubo si trova *un sottile filo metallico*, i cui terminali attraversano il vetro, uscendo dal bulbo; è il cosiddetto « *filamento* » (fig. 1). Esso assomiglia al filamento incandescente di una lampadina; *durante il funzionamento il tubo elettronico emette una debole luce* e viene perciò chiamato alle volte « lampadina-radio ».

Collegando i terminali del filamento, per esempio, ad una pila tascabile oppure ad un accumulatore, esso diventa incandescente. L'osservatore ignaro dirà che tutto si limita a questa luminosità, più o meno rossiccia o biancastra.

Nella fig. 1 si scorge però nell'interno del tubo elettronico, oltre al filamento, che si chiama « *càtodo* », anche un'altra parte importante, il cosiddetto « *ànodo* ». Esso è costituito da *una piastrina di lamiera*, o *placca*, che può essere disposta, per esempio, come si vede nella fig. 1.

Supponete ora che una sorgente di corrente venga collegata al filamento.

Gli elettroni, che premono insistentemente per uscire dal polo negativo, trovano improvvisamente una strada aperta per riversarsi verso il polo positivo, e cominciano così a scorrere, all'esterno della sorgente stessa, dal polo negativo al polo positivo. Strada facendo incontrano un punto dove la via si stringe, diventando quanto mai scomoda e difficoltosa: è il sottile filamento del tubo elettronico; per il grande attrito degli elettroni, questo non tarda molto a riscaldarsi e a diventare incandescente. Avviene ora come se gli elettroni non potessero sopportare il grande calore del filamento. Essi fanno parte, è vero, del filamento stesso, ma più questo è caldo e più essi cercano di uscirne fuori. Favoriti dal fatto che l'aria è stata estratta dal tubo, gli elettroni *evaporano* dal filamento formando una specie di *nuvola di elettroni*, che si addensa attorno ad esso. Poichè la perdita di elettroni equivale ad una carica positiva, *il filamento diventa positivo, ossia si « ionizza »*, come abbiamo visto che si dice; e quindi esercita una certa forza d'attrazione sugli elettroni, che non riescono perciò ad allontanarsi troppo. *La nuvola di elettroni* è costituita quindi *da milioni e milioni di elettroni*; il loro numero è tanto più grande, quanto più elevata è la temperatura del filamento; dipende inoltre anche dalla qualità del materiale di cui il filamento stesso è costituito. Nella fig. 2 sono disegnati alcuni di questi elettroni; le piccole frecce indicano la direzione nella quale essi potrebbero muoversi nell'istante considerato.

Noi abbiamo però delle determinate intenzioni nei riguardi degli elettroni. Prima abbiamo fatto in modo che gli elettroni uscissero dal catodo, formando la *nuvola*; ma ora che sono tutti attorno ad esso come i pulcini attorno alla chioccia, vogliamo far di più. Ci serviamo a questo scopo della placca (anodo), inserita nel tubo elettronico, ed applichiamo ad essa un'altra sorgente di tensione, *in modo che il polo positivo sia collegato con la placca (anodo), il negativo col filamento (catodo)*. Ecco che improvvisamente gli elettroni sentono la forte attrazione della placca: essa infatti è caricata positivamente, presenta quindi una mancanza di elettroni. È chiaro pertanto che gli elettroni si precipiteranno per la via più breve sull'anodo, ossia sulla placca, dove non fa caldo e dove essi sono richiesti. Parrà strano che una corrente di elettroni possa passare dal catodo all'anodo, attraverso il vuoto del bulbo di vetro; eppure lo strumento di misura, inserito nel circuito anodico, come indicato nella fig. 3, conferma senza possibilità di dubbio l'esistenza di una corrente.

Riassumendo, vi preghiamo di ricordare bene questi fatti:

Gli elettroni liberi escono dal catodo, cioè dal filamento incandescente, e formano una specie di nuvola attorno a questo filo. Se si collega tra anodo e catodo una seconda batteria, in modo che l'anodo sia positivo rispetto al catodo, gli elettroni della nuvola attorno al catodo si precipitano attraverso il vuoto del tubo elettronico, cadendo sull'anodo, dal quale fanno ritorno al filamento, passando attraverso la batteria anodica. Un milliamperometro inserito nel circuito anodico indica in modo evidente il passaggio della corrente.

Se invece la batteria anodica venisse collegata in modo inverso, cioè col polo positivo al filamento e quello negativo alla placca, non passerebbe alcuna corrente. Ecco quindi spiegato l'altro nome, quello più comune, del tubo elettronico: « *valvola termoionica* ». *Valvola*, perchè lascia passare la corrente solo in un determinato senso; *termoionica*, perchè, con un mezzo termico (ossia calorico), costituito dall'incandescenza del filamento, si provoca la *ionizzazione* di questo, ossia la fuoruscita (l'emissione) degli elettroni.

Dalla fig. 3 avete appreso che la sorgente di elettricità, applicata ai due capi del filamento, si chiama « *batteria d'accensione* », mentre quella inserita tra anodo e catodo si chiama « *batteria anodica* ». La placca si chiama « *anodo* », perchè è collegata col polo positivo della batteria; il filamento invece si chiama « *catodo* », perchè è unito al polo negativo. *Anodo* e *catodo*, insieme, si chiamano anche « *elettrodi* » della valvola termoionica.

Fig. 4

Vapore
Acqua
Fiamma

Un paragone che presenta un'analogia abbastanza stretta coi fenomeni ora descritti è rappresentato nella fig. 4. Dell'acqua viene fatta bollire in un bulbo di vetro; il vapore che si sviluppa sale ed esce all'estremità superiore del bulbo, mentre all'estremità inferiore si può aggiungere sempre nuova acqua.

Avete appreso poco fa che il catodo emette degli elettroni, e in quantità tanto maggiore, quanto più esso viene riscaldato, quanto più è grande e quanto più adatto è il materiale di cui il filamento è costituito. Per la fabbricazione dei filamenti si impiegano quindi materiali speciali, su quali viene spruzzato uno *strato* particolarmente adatto all'emissione degli elettroni. Questo strato è costituito principalmente da *ossido di bario*, cioè da un composto dell'elemento *bario* con l'*ossigeno*. Nella fabbricazione delle valvole, lo strato d'ossido viene preparato per lo svolgimento di una emissione di elettroni particolarmente efficace, mediante il cosiddetto « *processo di formazione* »; questo consiste nel far funzionare per parecchio tempo il tubo elettronico finito con una corrente parecchie volte superiore a quella d'esercizio.

L'*intensità della corrente elettronica* dipende anche dalla *tensione della batteria anodica*. Se l'anodo è collegato con una tensione elevata, esso attrae più elettroni che nel caso di una piccola tensione. *È possibile quindi regolare il valore della corrente elettronica, cioè variarne l'intensità, aumentando o diminuendo la corrente d'accensione, oppure la tensione anodica.*

La regolazione della corrente anodica è perciò, come vedrete, d'importanza straordinaria e si cercarono pertanto altre soluzioni di tale problema. Le cognizioni della natura dell'elettricità, racchiuse nella teoria elettronica, portarono infine ad una soluzione geniale, di cui bisogna sottolineare la grandissima importanza. Si sapeva che gli elettroni sono dotati di una carica negativa, come pure che le cariche di ugual segno si respingono, mentre quelle di segno differente si attraggono. Voi conoscete tutto questo e comprenderete quindi facilmente che una carica negativa possa respingere gli elettroni o, perlomeno, frenarli nella loro corsa.

Il tubo elettronico dotato di griglia

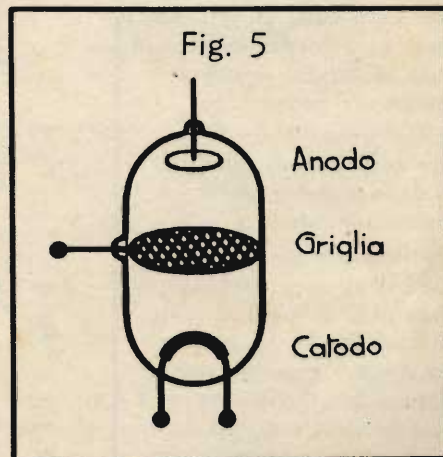
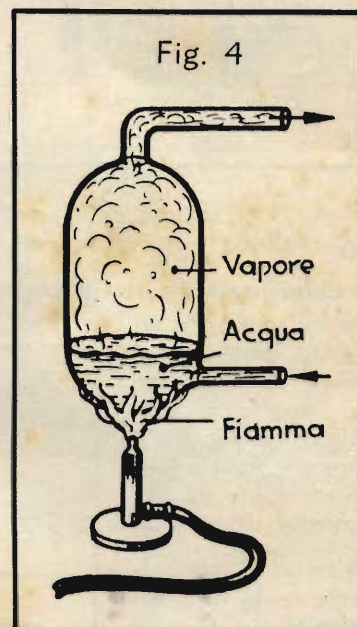
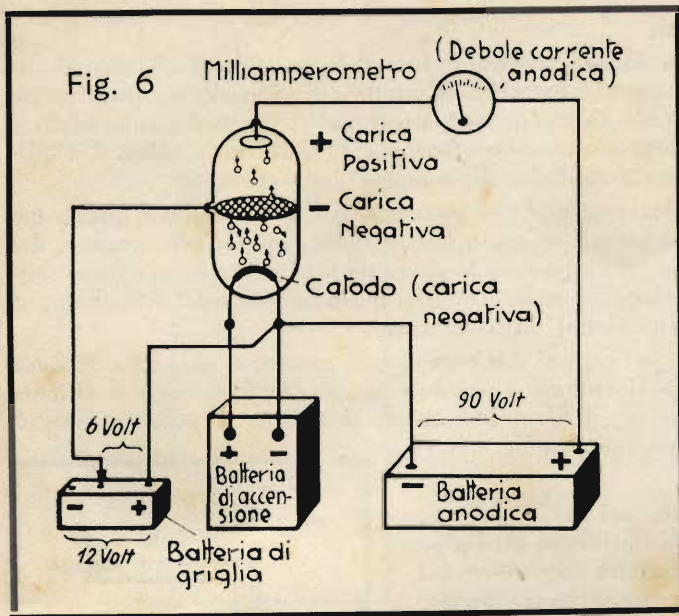
Disponendo fra il catodo (filamento) e l'anodo (placca) del tubo elettronico ora descritto, una specie di grata o griglia, è possibile influenzare la corrente elettronica fluente dal catodo all'anodo. Ciò avviene applicando alla griglia una tensione negativa più o meno elevata.

Nella fig. 5 è rappresentata una *griglia* metallica di questo tipo. Gli elettroni emessi dal filamento incandescente possono passare pressochè indisturbati attraverso le maglie della griglia, raggiungendo l'anodo positivo. Essi non hanno alcuna tendenza a cadere sulla griglia, fintantochè questa rimanga neutrale.

Fig. 5

Osservate ora la fig. 6. La griglia riceve una carica negativa di data intensità, prelevata da una terza sorgente di corrente, la cosiddetta « *batteria di griglia* ». Questa batteria viene collegata col meno alla griglia della valvola, col più al catodo (fig. 6). Come comprenderete facilmente, *la griglia diventa in tal modo negativa rispetto al catodo. In seguito a questa carica negativa della griglia, gli elettroni emessi dal catodo, che sono essi pure negativi, vengono respinti in massima parte dalla griglia e non giungono alla placca.*

D'altra parte è possibile che, in determinati casi, l'attrazione esercitata dall'anodo sugli elettroni giacenti sotto la griglia sia talmente forte, da superare in parte l'effetto respingente della griglia.

Cade allora sull'anodo un certo numero di elettroni.

Più la carica negativa della griglia è debole e più elettroni riescono naturalmente a raggiungere l'anodo, passando attraverso la griglia. In altre parole: l'intensità della corrente elettronica è tanto maggiore, quanto minore è la carica negativa della griglia, e viceversa. *Variando la tensione della batteria di griglia si ha quindi la possibilità di regolare la corrente elettronica.*

A questo modo è perfino possibile sopprimere la corrente elettronica; basta dare un valore sufficientemente elevato alla tensione negativa di griglia, per esempio — 20 volt, come nella fig. 7.

Se si invertono i collegamenti della batteria di griglia, in modo che la griglia si trovi applicata al polo positivo e quindi dotata di una carica positiva, la griglia provoca perfino un aumento della corrente anodica. Essa aiuta, in un certo senso, ad attirare gli elettroni fuori del catodo. Quando però gli elettroni arrivano tra le maglie della griglia, sentono che più in là c'è un elettrodo ancora più positivo e volano fino ad esso. Solo una piccola parte degli elettroni va a colpire la griglia; si forma così una *corrente di griglia*, che rimane però assai piccola. La parte preponderante degli elettroni fluisce dal catodo all'anodo e provoca una forte escursione del milliamperometro inserito nel circuito anodico (fig. 8).

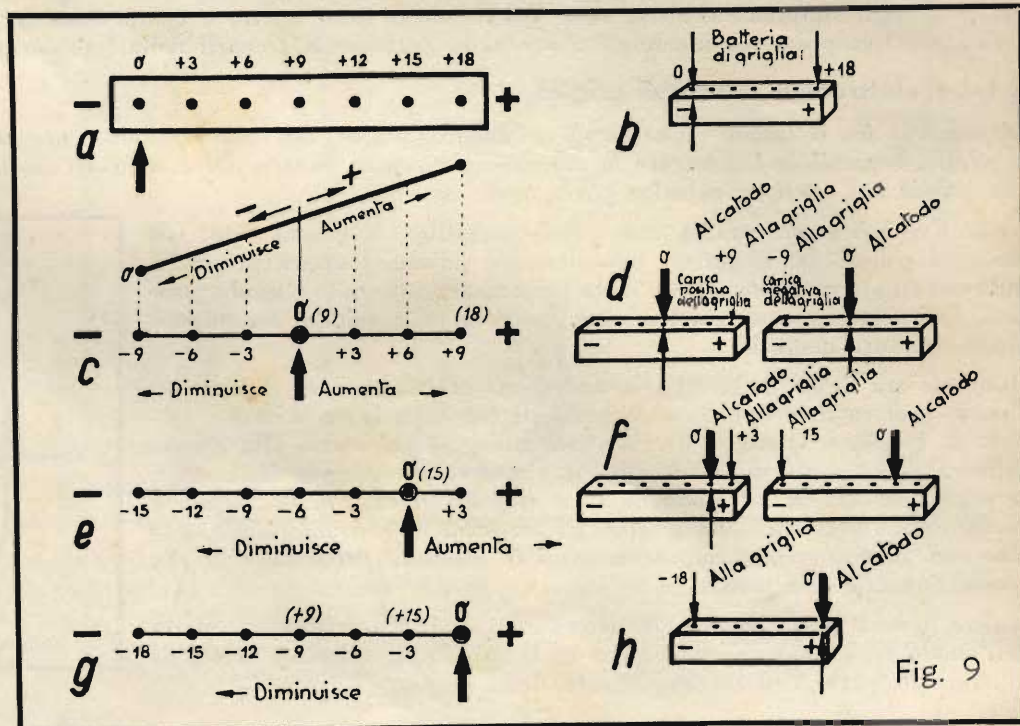
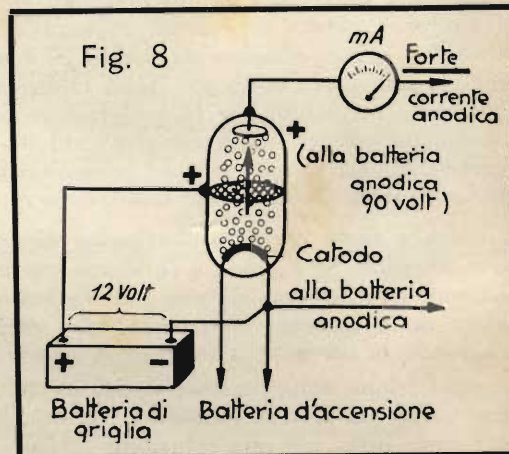
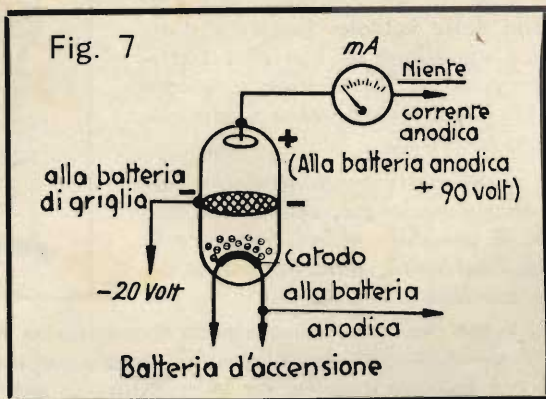
Il collegamento della batteria di griglia

Occupiamoci ora un po' diffusamente del modo di collegare la batteria di griglia. Nella fig. 9-*a* è rappresentata la parte superiore di una batteria di griglia.

Si tratta di una batteria da 18 volt, costituita da 12 pile collegate in serie.

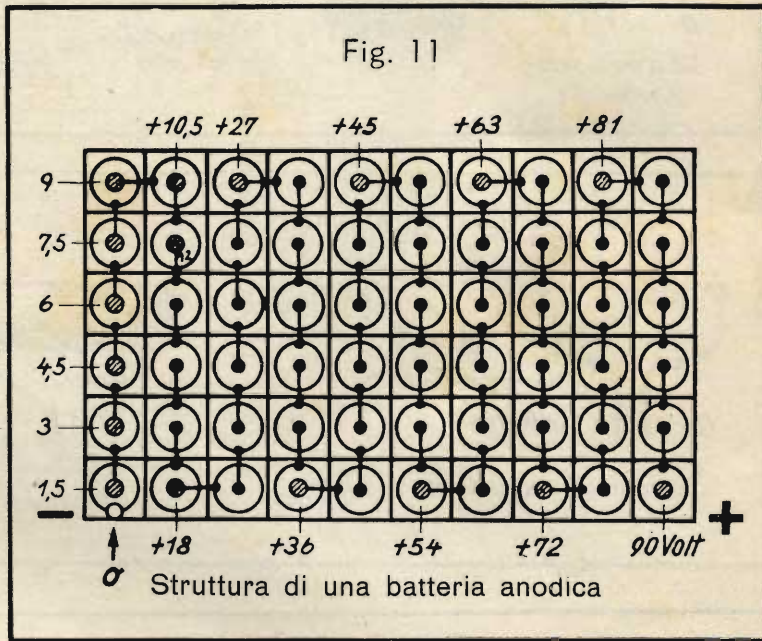
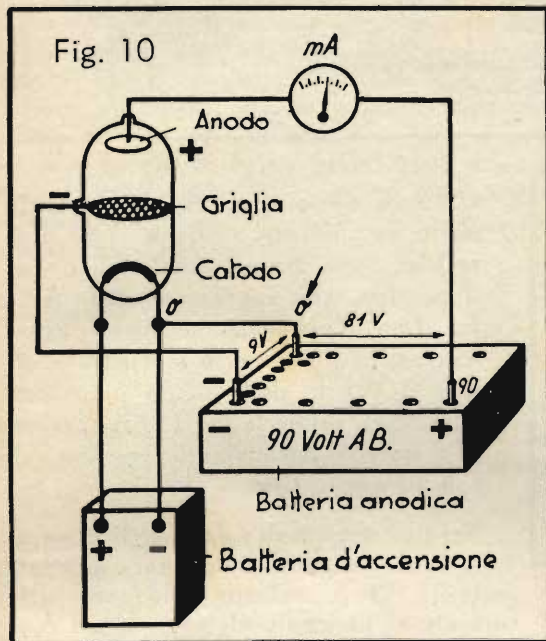
In vari punti si trovano delle boccole di connessione; nel caso considerato, di 3 in 3 volt. All'estremità sinistra si trovano il polo negativo, designato spesso con zero, e all'estremità destra c'è il polo positivo con la tensione massima + 18 volt. La fig. 9-*b* mostra la medesima batteria di griglia in rappresentazione prospettica.

Indicheremo d'ora in poi con *zero* (« 0 ») *quel polo della batteria che è collegato col catodo.*

Conformemente alla figura 9-*c*, esso sarà, per esempio, il polo 9 volt della batteria di griglia. In questo caso possiamo dare alla griglia una carica positiva o negativa, a piacimento, a seconda che la spina del cavetto, proveniente dalla griglia,

venga inserita in una boccola situata a destra o a sinistra dello zero (fig. 9-*d*). Se lo zero viene stabilito in corrispondenza alla boccola dei 15 volt della batteria (fig. 9-*e*), è possibile dare alla griglia una carica a scelta tra la tensione negativa di —15 volt e quella positiva di +3 volt (fig. 9-*f*). Se infine il punto di zero viene collegato con la boccola dei +18 volt della batteria e la griglia collegata con il polo negativo della stessa (fig. 9-*g*), la griglia assume una « *polarizzazione* » (come si dice) negativa di —18 volt (fig. 9-*h*).

La *polarizzazione di griglia* equivale, per esempio, a —9 volt, quando il collegamento al catodo è infilato nella boccola +18 volt e quello alla griglia in +9 volt. Quando invece, mantenendo inalterato il punto di collegamento del catodo, la spina di griglia viene infilata nella boccola dei +15 volt, la polarizzazione è uguale a —3 volt.

La batteria combinata di placca e di griglia

Struttura di una batteria anodica

Utilizzando la disposizione della fig. 10 è possibile — secondo le spiegazioni che vi abbiamo dato ora — rinunciare completamente ad una speciale batteria di griglia, servendosi solo di una batteria anodica. Se, per esempio, il punto di *zero* viene stabilito sui +9 volt e collegato al catodo, per dare alla griglia una polarizzazione negativa di —9 volt bisogna portare il cavetto di griglia al polo negativo della batteria. Restano allora, in una batteria anodica da 90 volt, ancora 81 volt disponibili per la tensione anodica.

La fig. 11 mostra come è costituita una batteria anodica da 90 volt, risultante dal collegamento in serie di 60 pile da 1,5 volt. I poli di alcune pile sono collegati con l'esterno; si tratta di quelli che nella nostra figura sono tratteggiati. Il polo negativo della batteria, cioè l'effettivo punto di zero, si trova nel punto designato con « 0 »; è però possibile spostare il punto di zero, per esempio, sul polo dei +9 volt, come si vede nella fig. 10. Allora il collegamento del catodo deve partire da questo polo. Il collegamento alla griglia può essere portato, per esempio, al polo negativo della batteria, stabilendo in tal modo una *polarizzazione di griglia di* —9 volt. A seconda che la spina del cavetto proveniente dall'anodo venga ora infilata nella boccola dei +63, dei +81 o dei +90 volt, la tensione anodica sarà uguale a 63 — 9 = *54 volt* oppure a 81 — 9 = *72 volt*, oppure a 90 — 9 = *81 volt*.

Se, in un determinato caso, la polarizzazione negativa di griglia dovesse equivalere a —4,5 volt, non occorre spostare il collegamento del catodo; basta portare il collegamento della griglia su +4,5 volt; e quando la polarizzazione deve equivalere a —6 volt, basta portare il collegamento di griglia su +3 volt.

Questi esempi basteranno certamente per farvi comprendere come si usa la batteria anodica.

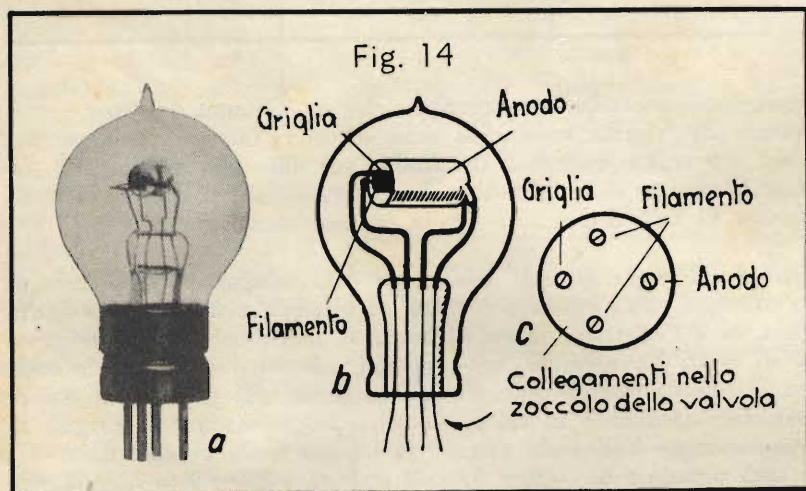
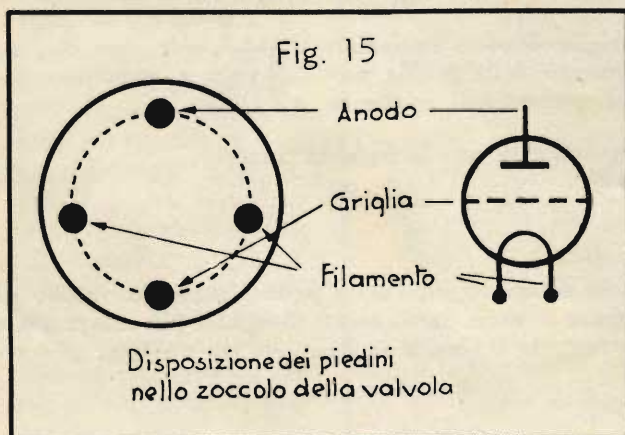
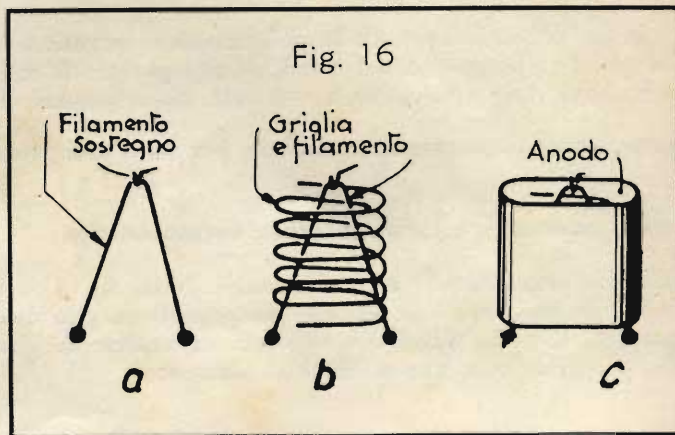
Forme costruttive delle valvole termoioniche

Torniamo ora ai nostri tubi elettronici. Nella fig. 12-*a* potete osservare una delle prime forme costruttive di tali « *lampadine-radio* »; affinchè ne possiate meglio distinguere le varie parti, essa è disegnata più chiaramente nella fig. 12-*b*. La valvola è collocata capovolta: la placca rotonda è situata in basso, sopra c'è la griglia avvolta a spirale e in alto si trova il filamento.

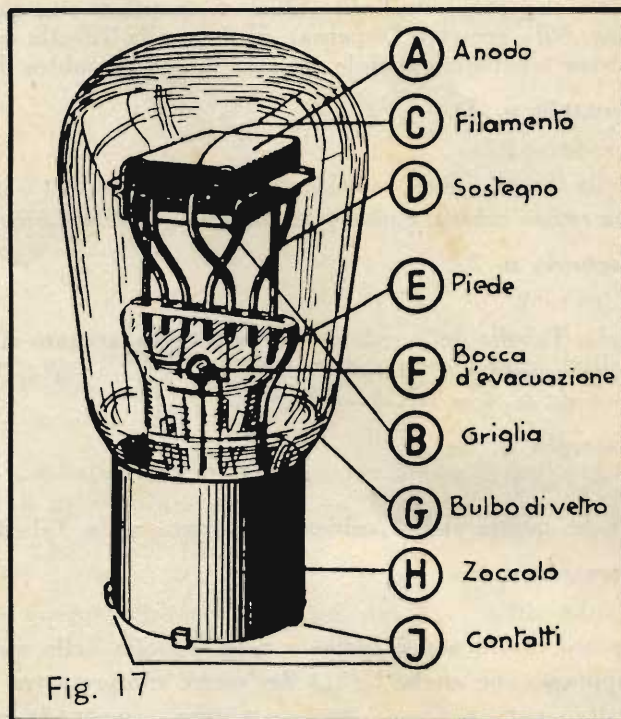
L'intiero dispositivo, rappresentato in modo semplificato, si trova nella figura 12-*c*, e con alcune piccole modifiche, si perviene alla rappresentazione della fig. 12-*d*. Capovolgendo questa figura schematica si ottiene lo schema che ormai vi è noto dalle figure precedenti (fig. 12-*e*). Infine la fig. 12-*f* rappresenta il *simbolo normalizzato* per una valvola di questo tipo.

Nei tipi strutturali successivi il filamento venne eseguito nella forma mostrata nella fig. 13; i conduttori che portano la corrente al filamento gli servono nel contempo da sostegni. La *griglia*, in questo tipo è *avvolta ad elica* e *circonda il filamento* (fig. 14), mentre l'*anodo* è costituito da un *cilindro di lamiera* (fig. 13-*c*), *infilato a debita distanza sopra la griglia.*

La fig. 14-*a mostra* una valvola termoionica costruita nel modo ora descritto; la rapresentazione schematica della fig. 14-*b* serve per comprendere meglio la disposizione delle singole parti. *I collegamenti dei tre elettrodi passano attraverso il piede della valvola e finiscono in uno zoccolo con 4 spinotti di contatto* (fig. 14-*c*).

Come risulta dalla fig. 15, *gli spinotti di contatto sono disposti in un modo particolare.* Essi giacciono su di un cerchio; *il*

collegamento dell'anodo e quello della griglia sono diametralmente opposti, mentre *i due collegamenti del filamento sono leggermente allontanati dallo spinotto dell'anodo e avvicinati a quello della griglia.* Osservando uno zoccolo di questo tipo si riconosce subito quali sono gli spinotti dell'anodo, della griglia e del filamento. La disposizione rappresentata nella fig. 15 si riferisce allo zoccolo *visto di sotto.*

Procedendo lo sviluppo strutturale delle valvole, *il filamento venne fatto più lungo, affinchè potesse emettere un maggior numero di elettroni*; bisognò quindi modificare in modo adatto il suo sostegno (fig. 16). *La griglia mantenne la forma elicoidale, modificata però in modo da avere una sezione ovale* (fig. 16-*b*). *L'anodo, infilato sopra l'intiero sistema, ebbe esso pure la forma di un cilindro ovale un* po' più grande (fig. 16-*c*). In molte valvole, *filamento, griglia e placca vennero anche disposte in posizione orizzontale,* come è indicato nella fig. 17. In questa figura potete pure osservare che *gli spinotti sono sostituiti da contatti laterali* di forma speciale. Torneremo in seguito su questo particolare e sulla zoccolatura delle valvole.

Fig. 17

Domande

1. Come si chiamano i differenti elettrodi di una valvola termoionica?
2. In quale direzione fluisce la corrente elettronica nell'interno di una valvola?
3. Da che cosa dipende l'intensità della corrente elettronica di una valvola senza griglia?
4. Che effetto esercita sulla corrente elettronica una forte carica negativa della griglia?

MATEMATICA

La radice cubica

È noto che il volume di un cubo di lato a è uguale ad a^3. Se per esempio il lato del cubo è lungo 2 cm, il volume è:
$$2^3 = 2 . 2 . 2 = 8\ cm^3$$

Fig. 18

Bisogna dunque moltiplicare la lunghezza del lato tre volte per se stessa, ossia *elevarla alla terza potenza.* Come già sapete, invece di: « *elevare alla seconda potenza* », si dice anche « *elevare al quadrato* ». Allo stesso modo, per « *elevare alla terza potenza* », si dice anche « *elevare al cubo* », poichè questa operazione va eseguita per calcolare il volume di un cubo. Esempi di elevazione al cubo:

$$2^3 = 2 . 2 . 2 = 8 \qquad\qquad 5^3 = 5 . 5 . 5 = 125$$

L'operazione inversa dell'elevazione al quadrato, come ormai ben sapete, è l'estrazione della radice quadrata. Analogamente, l'operazione inversa dell'elevazione al cubo è l'estrazione della *radice cubica* (detta anche « *terza radice* »).

Esempio: $\sqrt[3]{125}$.

Ciò significa che bisogna trovare il numero che, elevato al cubo, ossia alla terza potenza e cioè moltiplicato tre volte per se stesso), dà 125. Il risultato è quindi $\sqrt[3]{125} = 5$, perchè $5^3 = 5 . 5 . 5 = 125$.

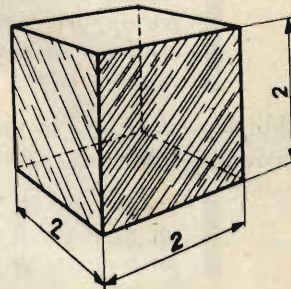
Come vedete, a sinistra, sopra il segno di radice, c'è un piccolo 3, il cosiddetto « *esponente* ». Esso indica che si tratta della terza radice, cioè della radice cubica.

Analogamente bisognerebbe, nella radice quadrata, mettere un piccolo 2; dovremmo quindi scrivere, p. es., $\sqrt[2]{9} = 3$. Poichè però la radice quadrata è d'uso assai frequente, si è convenuto di tralasciare questa indicazione. Quando una radice è priva di esponente, si intende sempre che si tratta di una radice quadrata. Non si può, però, tralasciare l'indicazione dell'esponente nelle radici che non sono radici quadrate.

Esempi di semplici radici cubiche:

$\sqrt[3]{8} = 2$; infatti è $2^3 = 2 . 2 . 2 = 8$

$\sqrt[3]{27} = 3$; infatti è $3^3 = 3 . 3 . 3 = 27$

$\sqrt[3]{216} = 6$; infatti è $6^3 = 6 . 6 . 6 = 216$

Per i casi più complicati abbiamo compilato una tabella delle radici cubiche (vedi Tabella N. 6 nell'ultima pagina della presente Dispensa), analoga alla Tabella delle radici quadrate della Dispensa N. 5. Con l'aiuto di questa tabella è possibile estrarre la radice cubica di qualsiasi numero.

Esempio n. 1:

$\sqrt[3]{640} = ?$

Nella Tabella delle radici cubiche il numero 640 è contenuto nella penultima colonna. A destra di esso c'è la sua radice cubica, cioè 8,618. Quindi $\sqrt[3]{640} = 8{,}618$.

Esempio n. 2:

$\sqrt[3]{64} = ?$

Nella Tabella delle radici cubiche si trova, accanto al numero 64, la rispettiva radice cubica, cioè 4,000 o più semplicemente 4. Quindi $\sqrt[3]{64} = 4$. L'esattezza del risultato è in questo caso assai facile da controllare: $4^3 = 4 . 4 . 4 = 16 . 4 = 64$.

Esempio n. 3:

$\sqrt[3]{6{,}4} = ?$

Anche questa radice cubica è riportata nella Tabella. $\sqrt[3]{6{,}4} = 1{,}857$.

Esempio n. 4:

$\sqrt[3]{813} = ?$

Questo valore non è indicato nella Tabella delle radici cubiche. Poichè però 813 è compreso tra 810 e 820, sappiamo che anche $\sqrt[3]{813}$ dev'essere compresa tra $\sqrt[3]{810}$ e $\sqrt[3]{820}$.

Nella tabella troviamo che sono $\sqrt[3]{810} = 9{,}322$ e $\sqrt[3]{820} = 9{,}360$. La differenza tra i due risultati è dunque 0,038. La differenza tra 810 e 820 è 10. 813 supera 810 per 3/10 ossia 0,3 di questa differenza. Perciò moltiplichiamo 0,038 per 0,3 e otteniamo $0{,}038 . 0{,}3 = 0{,}011$. Questo importo va sommato a 9,322 e si trova quindi $\sqrt[3]{813} = 9{,}322 + 0{,}011 = 9{,}333$. Abbiamo così compiuto l'interpolazione.

Prova: $9{,}333^3 = 9{,}333 . 9{,}333 . 9{,}333$. Se il calcolo sopra riportato è giusto, il risultato deve essere uguale a 813:

$$9{,}333 . 9{,}333 = 87{,}105$$
$$87{,}105 . 9{,}333 = 812{,}951$$

Il risultato corrisponde a 813 con una precisione sufficiente per i calcoli tecnici. Il calcolo è dunque giusto. Nella Tabella delle radici cubiche sono contenuti soltanto i numeri da 1 fino a 1000. Per i numeri superiori a 1000 si possono però separare alcune cifre, in modo da ottenere un numero contenuto nella tabella, analogamente a quanto abbiamo fatto per le radici quadrate. A questo proposito dobbiamo tener presente la seguente regola:

Da un numero maggiore di 1000 si devono separare (con la virgola) 3 cifre o, se necessario, 6 cifre oppure 9 cifre. Dal numero così ottenuto si estrae la radice cubica servendosi della tabella. Il risultato va poi moltiplicato per 10 o per 100 o per 1000, a seconda che siano state separate 3, 6 oppure 9 cifre.

Abbiamo anche qui la possibilità di un controllo:

La radice cubica di

un numero di 1, 2 o 3 cifre è sempre un numero di 1 cifra (non contando le cifre decimali)
un numero di 4, 5 o 6 cifre è sempre un numero di 2 cifre » » » » »
un numero di 7, 8 o 9 cifre è sempre un numero di 3 cifre, ecc. » » » » »

Esempio n. 5:

$\sqrt[3]{64\,000} = ?$

Poichè questo numero è maggiore di 1000, separiamo 3 cifre e moltiplichiamo poi la radice per 10. Da 64 000 si ha perciò 64,000.

Il problema è allora: $10 . \sqrt[3]{64} = 10 . 4 = 40$.

Quindi $\sqrt[3]{64\,000} = 40$.

Prova: $40 . 40 . 40 = 1\,600 . 40 = 64\,000$. L'estrazione della radice cubica è esatta.

Esempio n. 6:

$\sqrt[3]{1\,250\,000} = ?$

Separando 3 cifre (1250,000) si ottiene 1250, che è sempre maggiore di 1000. Dobbiamo quindi separare 6 cifre e otteniamo 1,25. Seguendo la nostra regola, il risultato dovrà essere quindi moltiplicato per 100. Abbiamo quindi $\sqrt[3]{1\,250\,000} = 100 . \sqrt[3]{1{,}25}$.

Mediante la tabella delle radici cubiche troviamo il valore di $\sqrt[3]{1,25}$. Esso deve trovarsi a metà tra $\sqrt[3]{1,2}$ e $\sqrt[3]{1,3}$.

Abbiamo:

$\sqrt[3]{1,2} = 1,063$
$\sqrt[3]{1,3} = 1,091$ } la differenza dei risultati è 0,028.

La metà della differenza è 0,014. Aggiungendola a 1,063 si ottiene:

$\sqrt[3]{1,25} = 1,063 + 0,014 = 1,077$.

In definitiva otteniamo:

$\sqrt[3]{1\,250\,000} = 100 \,.\, \sqrt[3]{1,25} = 100 \,.\, 1,077 = 107,7$.

La nostra regola di controllo conferma che il risultato deve avere 3 cifre, non contando i decimali. Infatti la radice cubica di un numero di 7 cifre deve avere sempre 3 cifre, non calcolando i decimali.

Radici superiori

Come abbiamo già accennato, non esistono soltanto radici quadrate e radici cubiche, ma anche radici quarte, radici quinte, seste, ecc. Per esempio $\sqrt[4]{81}$ (*radice quarta di 81*) significa che si deve trovare il numero che, moltiplicato quattro volte per se stesso, dia 81. Il risultato è $\sqrt[4]{81} = 3$, perchè $3^4 = 3 \,.\, 3 \,.\, 3 \,.\, 3 = 9 \,.\, 9 = 81$.

Capirete dunque subito il significato del seguente problema:

$\sqrt[5]{32} = ?$ Si tratta di trovare il numero che, moltiplicato cinque volte per se stesso, dia 32. Questo numero è 2. Infatti:

$2^5 = 2 \,.\, 2 \,.\, 2 \,.\, 2 \,.\, 2 = 4 \,.\, 4 \,.\, 2 = 16 \,.\, 2 = 32$.

Quindi $\sqrt[5]{32} = 2$.

Queste radici superiori si usano assai raramente nella tecnica. Qualche volta capita di dover estrarre la *radice quarta*, ma questa è facile da determinare, poichè *si estrae due volte di seguito la radice quadrata.*

Poniamo, per esempio, il problema come sopra: $\sqrt[4]{81} = ?$ Procediamo così: estraiamo prima la radice quadrata di 81, e cioè $\sqrt{81} = 9$. Dal risultato, estraiamo un'altra volta la radice quadrata, quindi $\sqrt{9} = 3$. Infine abbiamo $\sqrt[4]{81} = 3$.

Oltre alla possibilità qui descritta di estrarre le radici con l'aiuto di tabelle, *esistono anche regole precise per il calcolo delle radici.* Si tratta però di operazioni assai laboriose, che richiedono molto tempo, e non sono quindi adatte per i nostri scopi. In meccanica ed in elettrotecnica si adoperano esclusivamente le tabelle, la cui precisione è generalmente sufficiente.

Il metodo più veloce per l'estrazione di una radice è l'uso del regolo calcolatore, sul quale, in questa occasione, richiamiamo un'altra volta la vostra attenzione.

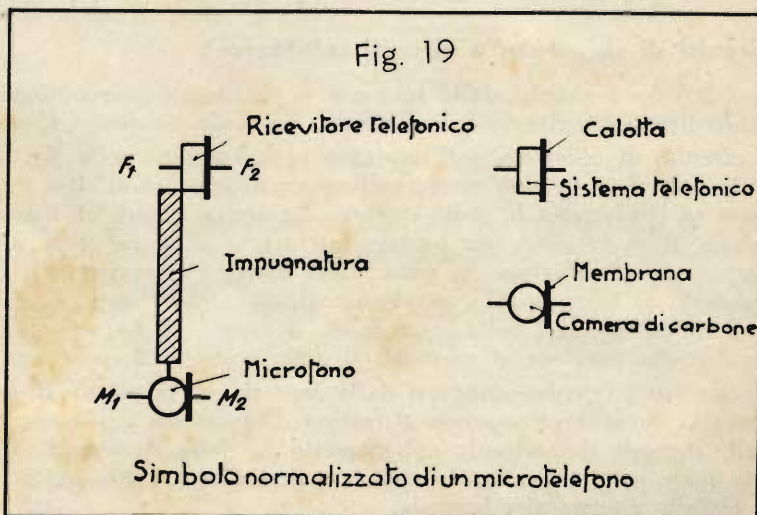
TELEFONIA

Impianti telefonici a « Inserzione diretta »

Nelle precedenti Dispense avete appreso i fondamenti della telefonia; per esempio, vi sono stati spiegati la costruzione ed il funzionamento dei microfoni. Abbiamo inoltre descritto i ricevitori telefonici, passando quindi alla trattazione dei collegamenti più semplici. Oggi vi vogliamo introdurre nella telefonia pratica.

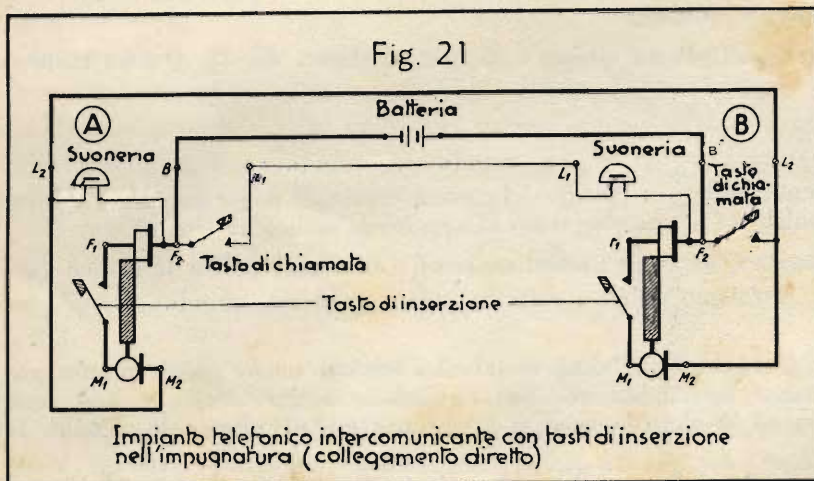
Simboli importanti

Negli schemi futuri troverete frequentemente i simboli rappresentati nelle figure 19 e 20, di cui vogliamo subito parlarvi. La figura 19 rappresenta il *simbolo dell'impugnatura* che, portando tanto il microfono quanto il ricevitore telefonico, si chiama « *microtelefono* ». I collegamenti del ricevitore sono designati con le sigle F_1 ed F_2, quelli del microfono con M_1 ed M_2.

Nella fig. 20 è riportato invece il simbolo dell'*impugnatura senza microfono*, come viene tuttora usata in certi casi.

Apparecchi telefonici con tasto d'inserzione nell'impugnatura

La fig. 21 mostra un semplice impianto telefonico a inserzione diretta. In questo caso l'impugnatura del microtelefono è dotata di un tastino, che va premuto quando si parla. (Nello schema, per ragioni di chiarezza di rappresentazione, questo contatto è disegnato come esterno all'impugnatura).

Un siffatto collegamento consente senz'altro la vicendevole chiamata e comunicazione parlata. Si tratta della cosiddetta « *inserzione diretta* », cioè *senza bobine d'induzione* (trasformatori). I morsetti delle due stazioni sono designati, come vedete, con le sigle L_1, L_2 e B, abituali in questo genere d'impianti.

Osservando con attenzione la fig. 21, noterete che le due stazioni differiscono un pochino nel modo in cui sono collegate. Nella stazione A la suoneria è inserita tra i morsetti L_2 e B, mentre il tasto di chiamata si trova tra B ed L_1; nella stazione B, invece, la suoneria è tra L_1 e B ed il tasto tra B ed L_2. Come è accennato nella figura, il microfono, quando non è usato, viene appeso ad un gancio fisso, collegato elettricamente con la suoneria. L'occhiello dell'impugnatura, col quale questa è appesa al gancio suddetto, si trova a sua volta in collegamento con F_2 e quindi col morsetto B. In tal modo la connessione tra la suoneria ed il morsetto B avviene solo quando il microtelefono è appeso, ed è quindi impossibile provocare il funzionamento della suoneria mentre è in corso la comunicazione.

Il microtelefono possiede i collegamenti contrassegnati con F_1 ed F_2 per il ricevitore, M_1 ed M_2 per il microfono. Tra microfono e ricevitore si trova l'impugnatura isolante, attraverso la quale, nel tipo in uso, passano i fili, adducenti al tastino di inserzione.

In pratica, *ogni stazione è dotata di una cassetta*, nella quale sono sistemati la *suoneria*, il *tasto di chiamata* ed il *gancio di sospensione del microtelefono.*

La comunicazione telefonica

In un impianto di questo genere la comunicazione telefonica si svolge nel modo seguente: quando l'utente A vuol parlare con l'utente B, sgancia il microtelefono, disinserendo in tal modo la propria suoneria, e preme il tasto di chiamata. Seguite ora il percorso della corrente. Constaterete che, quando il tasto di chiamata della stazione A viene premuto, deve entrare in funzione la suoneria della stazione B. L'utente B stacca allora il microtelefono e in questo istante la suoneria si arresta, poichè viene aperto il contatto nel circuito che, dal tasto di chaimata in A, attraverso la batteria, porta alla suoneria B. Durante il colloquio entrambi gli utenti devono tener premuto il tastino nell'impugnatura del microtelefono. Al termine della comunicazione vengono riappesi i microtelefoni, dimodochè possono venire azionate nuovamente le suonerie per la chiamata tanto di B da A come di A da B.

Circuiti di chiamata e circuiti telefonici

In telefonia i circuiti delle suonerie si chiamano « *circuiti di chiamata* », mentre i circuiti in cui si trovano i microfoni ed i ricevitori s chiamano « *circuiti telefonici* », cosa che vorrete ricordarvi bene.

Il *circuito di chiamata* dell'impianto rappresentato nella fig. 21 passa, per quanto riguarda la stazione A, dalla batteria, che può essere collocata nell'una o nell'altra stazione, attraverso il morsetto B, il tasto di chiamata ed il morsetto L_1 della stazione A; arriva quindi al morsetto L_1 della stazione B, alla suoneria ed al gancio di sospensione per tornare, attraverso al morsetto B, alla batteria. Il secondo circuito di chiamata, appartenente alla stazione B, passa dalla batteria al morsetto B della stazione B e procede attraverso il tasto di chiamata al morsetto L_2; questo è collegato col morsetto L_2 della stazione A. Di qui la corrente di chiamata attraversa la suoneria della stazione A, il gancio di sospensione e attraverso l'occhiello del microtelefono di questa stazione perviene al morsetto B della stazione A, e ritorna infine alla batteria.

Il *circuito telefonico* conduce dalla batteria al morsetto B della stazione A; attraversa il ricevitore della stessa e, dopo aver superato il tastino d'inserzione nell'impugnatura, il microfono; giunge poi al morsetto L_2 della stazione A, collegato col morsetto L_2 della stazione B. Quest'ultimo porta al microfono della stazione B, dal quale la corrente, attraverso il tastino d'inserzione, passa nel ricevitore, collegato al morsetto B; da questo il circuito ritorna alla batteria.

Apparecchi telefonici con gancio di commutazione

L'applicazione del tastino d'inserzione, montato nell'impugnatura del microtelefono, e che va premuto durante la conversazione, può essere evitata.

Il collegamento deve essere allora effettuato come appare nella fig. 22; occorre però, in questo caso, un *gancio di sospensione mobile.* Sganciando il microtelefono vengono chiusi due contatti, mentre ne viene aperto un terzo, che è chiuso soltanto quando il microtelefono è appeso. Torneremo in seguito a descrivere più dettagliatamente questo *gancio di commutazione.*

Con questo sistema d'inserzione gli apparecchi usati per le stazioni A e B sono entrambi identici. D'altra parte non è detto che il microfono debba necessariamente essere montato sull'impugnatura; in numerosi apparecchi, di tipo piuttosto antiquato, esso è collocato sulla custodia dell'apparecchio telefonico. Nella custodia sono contenuti inoltre una suoneria per corrente continua e i contatti del tasto di chiamata. Un'impugnatura telefonica priva di microfono si chiama anche « *ricevitore a impugnatura* »; il gancio di commutazione è tenuto abbassato dal peso del ricevitore stesso.

Non appena il ricevitore viene sganciato e impugnato, una molla situata nell'interno della custodia provoca il sollevamento del gancio e quindi, come si è detto, la chiusura di due contatti e l'apertura di un terzo. La fig. 23 mostra lo schema usuale di un apparecchio di questo genere.

Un impianto del tipo rappresentato nella fig. 22 viene usato nel modo seguente: l'utente A, per esempio, stacca il ricevitore dal gancio e preme il tasto di chiamata; di conseguenza viene azionata la suoneria in B. L'utente B stacca allora anch'egli il ricevitore, fermando in tal modo la suoneria. Ha inizio ora la conversazione, al cui termine vengono, naturalmente, riappesi entrambi i ricevitori.

Negli apparecchi più moderni il microfono non è più fissato alla custodia. Si è trovato infatti che, nell'esercizio prolungato, *i granuli di carbone possono saldarsi tra loro, cosa che influisce sfavorevolmente sulla qualità della riproduzione fonica, cioè delle parole. Picchiettando leggermente contro il microfono, i granuli si distaccano di nuovo.* Per evitare il suddetto inconveniente, si preferisce montare il microfono sull'impugnatura; i continui movimenti e i leggeri urti, cui questa è sottoposta, provocano infatti la separazione dei granuli di carbone.

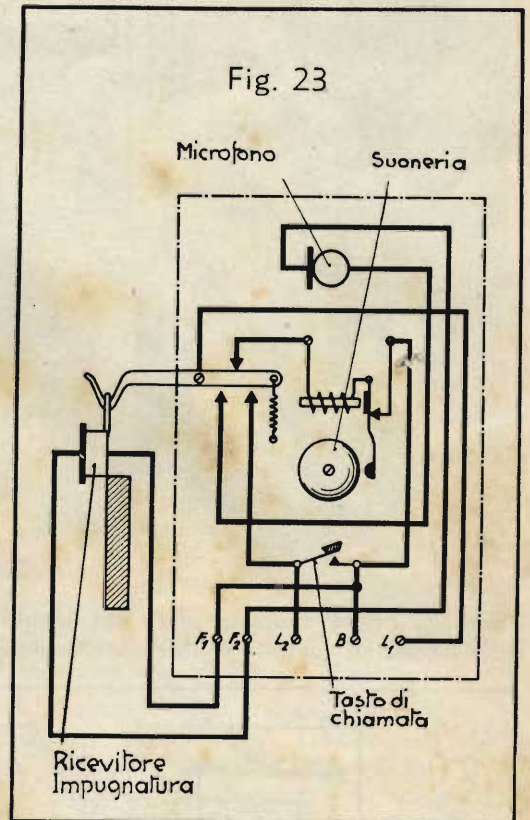
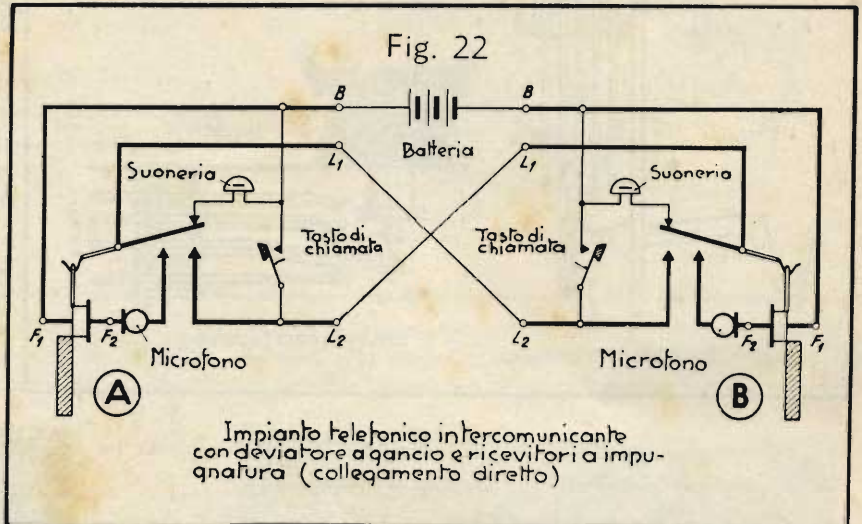
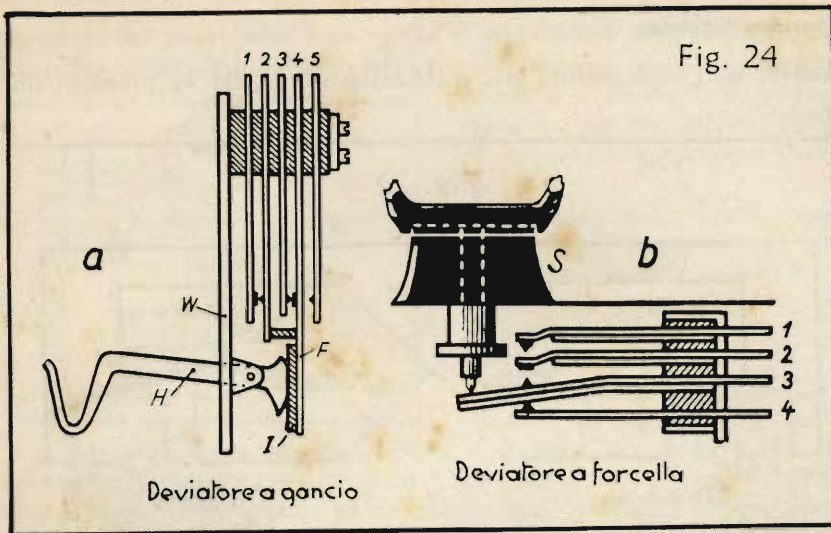
Queste osservazioni hanno portato alla costruzione dei moderni microtelefoni.

Gli attacchi delle stazioni telefoniche

Avrete già notato che *ogni stazione possiede cinque morsetti*: *due per ricevitore* (F_1 e F_2) e *tre per il collegamento delle tre linee* (L_1, L_2 e B). Osservate che, nel collegamento rappresentato nella fig. 22, il morsetto L_2 della stazione A deve essere collegato col morsetto L_1 della stazione B, e viceversa. Anche qui la batteria può essere collocata sia nella stazione A, che nella stazione B. Anche nella fig. 22 si tratta del resto di un impianto *intercomunicante*, cioè di un impianto per comunicazione vicendevole, ed effettuato in *inserzione diretta.*

Ganci e forcelle di commutazione

Ancora alcune parole sul gancio di commutazione, visibile nella fig. 24-*a*. Distaccando o appendendo il ricevitore, rispettivamente all'inizio e alla fine di una comunicazione, si effettua automaticamente una commutazio-

ne. Secondo il tipo di collegamento, occorrono per ciò più o meno contatti. Se si usano dei *contatti a lamina*, come quelli della fig. 24-*a*, il gancio dev'essere sistemato in modo da venir spinto verso l'alto dalla robusta molla *F*, quando il ricevitore viene distaccato. Il *pacco-molle*, costituito dalle molle a lamina 1-5, effettua le commutazioni volute. Il gancio *H*, sporgente dalla custodia *W*, è isolato, per mezzo della piastrina isolante *I*, dalle parti conduttrici di corrente.

Il gancio di commutazione è impiegato soltanto negli apparecchi a muro, mentre gli apparecchi da tavolo sono dotati della cosiddetta « *forcella di commutazione* ».

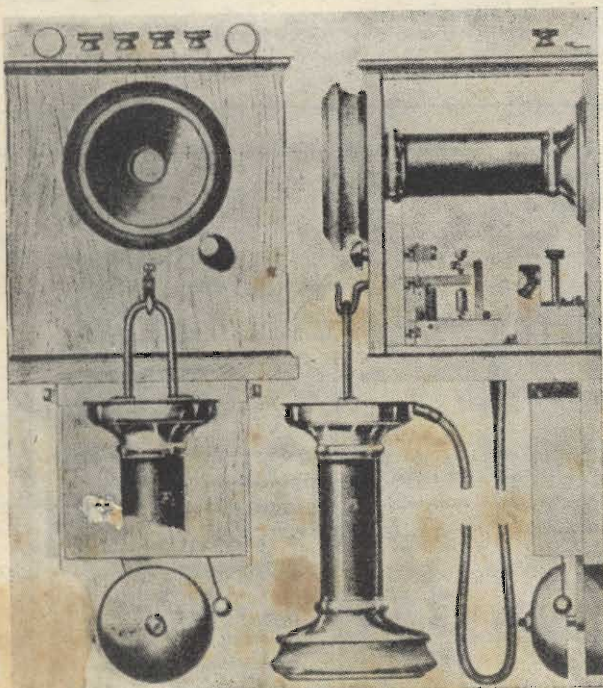



Fig. 25

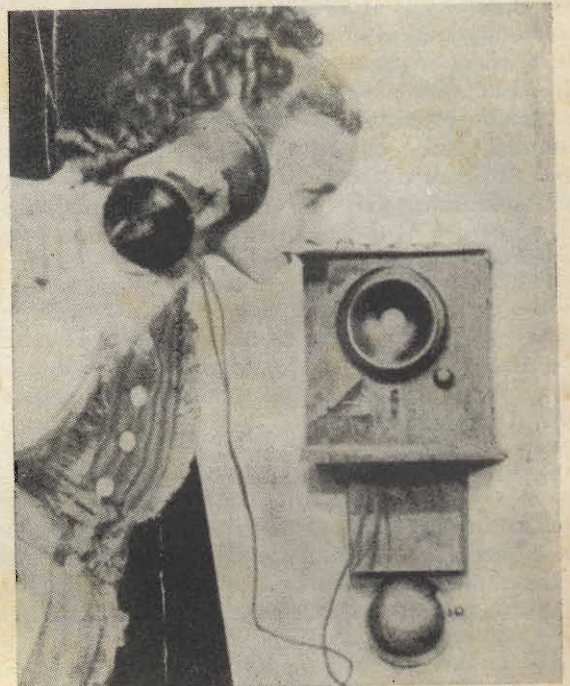
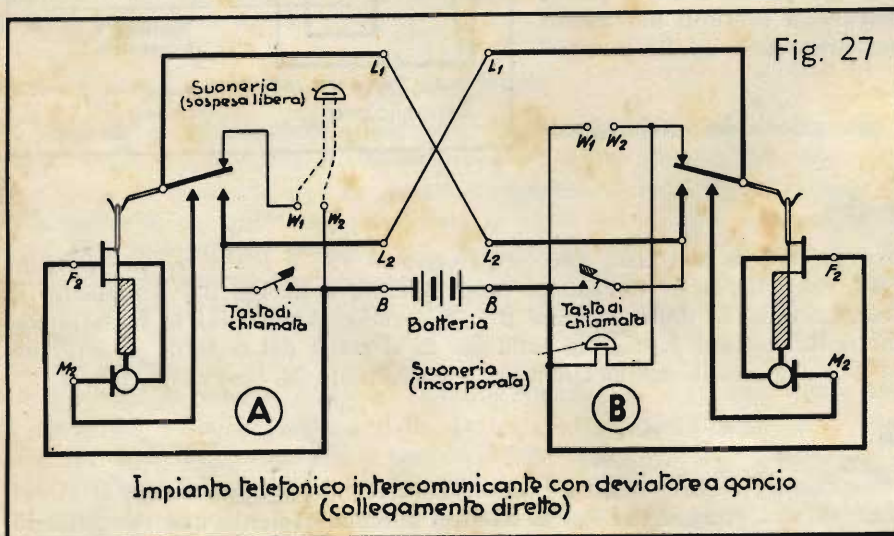
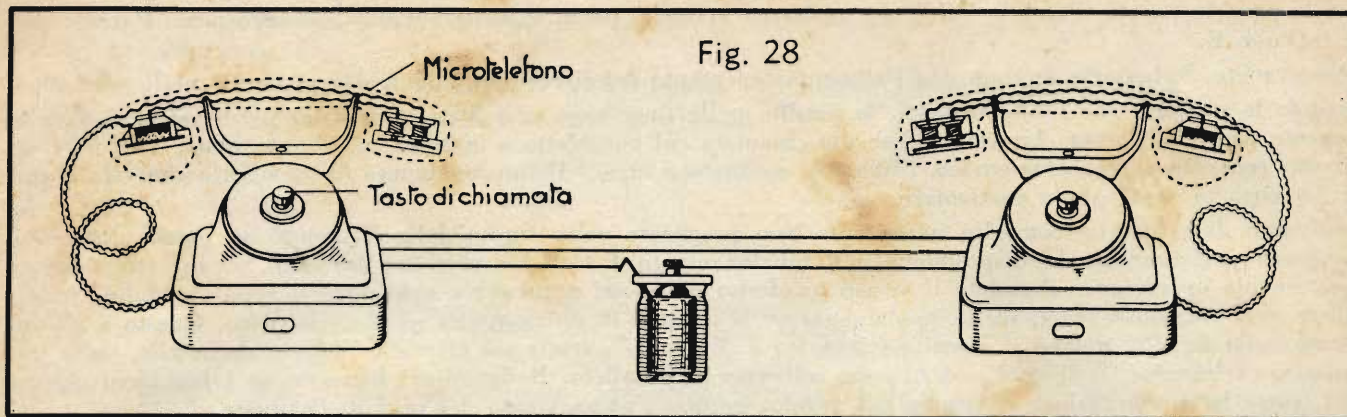



Fig. 26

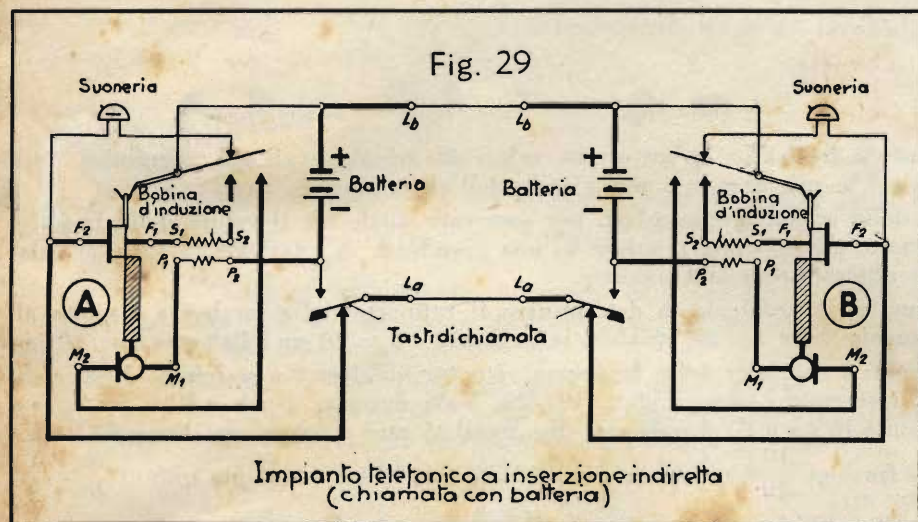
Nella fig. 24-*b* è indicata schematicamente la disposizione di una forcella. Anche in questo caso il numero delle lamine di contatto è differente, secondo il tipo del collegamento. La fig. 25 mostra la struttura di uno dei più antichi apparecchi telefonici; dalla fig. 26 si rileva chiaramente come i ricevitori d'allora fossero sproporzionati e scomodi.

Impianto telefonico intercomunicante con deviatore a gancio (collegamento diretto)

Nella fig. 27 è rappresentato una altra volta un impianto intercomunicante a inserzione diretta.

Esso corrisponde, per sommi capi, all'impianto della fig. 22, ma se ne distingue per il fatto che le impugnature sono dotate di ricevitore e di microfono, formando il noto microtelefono, e che la suoneria della stazione A è sospesa libera, collegata mediante cordo-

ne, mentre la suoneria della stazione B è montata nella custodia dell'apparecchio telefonico. I due morsetti W_1 e W_2 consentono, però, di allacciare una seconda suoneria, esterna alla custodia dell'apparecchio telefonico. Il funzionamento di questo impianto vi risulterà senz'altro comprensibile, se seguirete attentamente il percorso della corrente.

La fig. 28 mostra la presentazione esteriore di un semplice impianto telefonico con apparecchi da tavolo.

Impianti telefonici a «inserzione indiretta»

Avete già letto in precedenza dei vantaggi dell'*inserzione indiretta*. Nella fig. 29 è rappresentato lo schema di un impianto intercomunicante a inserzione indiretta. Le due stazioni sono qui completamente identiche; nelle custodie telefoniche sono contenuti una suoneria a corrente continua, un tasto di chiamata, un commutatore a gancio ed una bobina di induzione (trasformatore). Ciascuna stazione possiede una propria batteria. Le stazioni A e B sono collegate con *due sole linee*.

Impianto telefonico a inserzione indiretta (chiamata con batteria)

Negli apparecchi di questo tipo, i morsetti di allacciamento delle linee sono designati con le sigle L_a e L_b. Il tasto di chiamata è disposto in modo da chiudere un contatto in posizione di riposo. Premendo il tasto, questo contatto si apre e se ne chiude un altro. Mentre con lo schema della fig. 27 il microtelefono è collegato all'apparecchio telefonico con un cordone a due fili, usando lo schema della fig. 29 occorrono *quattro fili, per il collegamento del microtelefono* con gli organi contenuti nell'interno dell'apparecchio. Di questi quattro fili, due portano al microfono (morsetti M_1 ed M_2), gli altri due al ricevitore (morsetti F_1 ed F_2).

La *chiamata* si effettua, anche qui, premendo l'apposito tasto, e lo svolgimento della comunicazione è il medesimo che abbiamo descritto prima. Il circuito di chiamata conduce, per esempio, dal polo negativo della batteria in A, attraverso il tasto di chiamata premuto, la linea L_a ed il tasto di chiamata della stazione B, alla suoneria di questa stazione, tornando poi da questa, attraverso il commutatore a gancio e la linea L_b, al polo positivo della batteria nella stazione A. Potete seguire nello stesso modo il percorso della corrente, supponendo il caso che venga premuto il tasto di chiamata della stazione B.

Il circuito telefonico percorre invece il seguente giro: sganciando i microtelefoni, vengono chiusi i contatti precedentemente aperti dei commutatori a gancio. Parlando, per esempio, nel microfono della stazione A, viene generata una corrente fonica, che dal microfono attraversa il lato primario (morsetti P_1 e P_2) della bobina d'induzione, la batteria della stazione A ed il commutatore a gancio, tornando quindi al microfono. Questa corrente fonica viene trasferita, per effetto d'induzione, al lato secondario della bobina d'induzione (morsetti S_1 ed S_2).

L'avvolgimento secondario della bobina d'induzione è da considerare ora come sorgente della corrente fonica. Il nuovo circuito telefonico passa quindi dal morsetto S_1 della stazione A, attraverso il ricevitore, il tasto di chiamata e la linea L_a ed arriva alla stazione B; indi per il tasto di chiamata al ricevitore e continuando per il secondario della bobina d'induzione, il commutatore a gancio, la linea L_b ed il commutatore a gancio della stazione A, fa ritorno al morsetto S_2 del secondario della bobina d'induzione in A. Con questo schema la corrente fonica attraversa dunque entrambi i ricevitori; di conseguenza l'utente, parlando, sente nel telefono an-

che le proprie parole. Potete seguire nel medesimo modo il percorso della corrente, quando parla l'utente della stazione B.

Come vedete, le batterie servono per l'alimentazione tanto del circuito di chiamata, quanto di quello telefonico. Quando le stazioni sono molto distanti, le perdite nelle linee sono così forti, da render necessaria un'apposita sorgente per la chiamata. Arriviamo così alla chiamata col cosiddetto « *induttore* ». Questo non è altro che un *piccolo generatore magnetoelettrico* (dinamo), azionato a mano. Il funzionamento di un siffatto generatore verrà descritto in un Capitolo particolare.

Dobbiamo darvi ora un consiglio importante Non procedete nello studio della Dispensa, se prima non avete compreso perfettamente la disposizione e il funzionamento di tutti i circuiti ora descritti. Seguite attentamente ogni singola operazione. Prendete il vostro quaderno d'esercizi e disegnate ogni circuito separatamente. Suddividete ogni singolo schema, in modo da separare il circuito di chiamata da quello telefonico. Questo è già indicato nella fig. 22, poichè il circuito telefonico è disegnato a tratti più marcati. Vedrete anche che, nella trasmissione telefonica, le linee L_1 ed L_2 sono collegate in parallelo. Raffiguratevi bene anche i fenomeni meccanici, come la commutazione effettuata dal gancio, oppure l'azionamento dei tasti di chiamata.

I circuiti in telefonia sono spesso complicati e seguono dei percorsi tortuosi. Cercate di rendervi padroni dei concetti che dominano in questo campo della tecnica, e non dimenticatevi che solo l'esame attento dei singoli circuiti e del logico svolgimento dei successivi fenomeni permette di comprendere con chiarezza la bella tecnica del telefono.

Domande

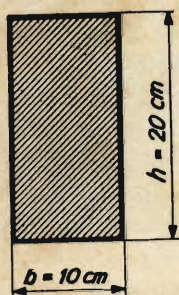
1. Che cos'è un microtelefono?
2. Che cosa caratterizza un ricevitore a impugnatura?
3. Qual è il vantaggio di disporre il microfono assieme al telefono sopra un'impugnatura, anzichè fissarlo alla custodia dell'apparecchio telefonico?

MATEMATICA

Rapporti e proporzioni

Nella tecnica bisogna assai spesso confrontare fra loro due o più valori in relazione alla loro grandezza. Si stabilisce, allora, quante volte un valore è più grande o più piccolo dell'altro.

Si possono, per esempio, esaminare delle sezioni rettangolari, per osservare quale sia il valore della larghezza b in relazione all'altezza h. Il numero, che esprime il valore di una grandezza in relazione all'altra, si chiama « *rapporto* » dei due valori ed è *generalmente una frazione.*

Fig. 30

Sia posto, ad esempio, il problema di determinare il rapporto della larghezza rispetto all'altezza del rettangolo della fig. 30, quando la larghezza è $b = 10$ cm e l'altezza $h = 20$ cm. In luogo delle parole: « *rapporto della larghezza rispetto all'altezza* » scriviamo brevemente $b : h$, oppure, inserendo i numeri dati, $10 : 20$. Vale dunque: $b : h = 10 : 20$; in parole: b sta ad h come 10 sta a 20. Invece dei due punti si può scrivere una linea di frazione: $\frac{b}{h} = \frac{10}{20}$. La frazione $\frac{10}{20}$ può essere semplificata per 10 ed otteniamo quindi $\frac{b}{h} = \frac{1}{2}$.

L'esattezza del risultato si riconosce risolvendo l'equazione per b oppure per h, come avete imparato in precedenza. Vogliamo trovare per esempio b; e allora trasformiamo l'equazione in modo da isolare b nel primo membro. Moltiplichiamo entrambi i membri per h, per farlo scomparire dal denominatore, e otteniamo $b = \frac{1}{2} \cdot h$ ossia $b = \frac{h}{2}$. Il risultato dice che la larghezza è la metà dell'altezza, il che è esatto. Abbiamo dimostrato in tal modo quanto segue:

I rapporti si possono scrivere sotto forma di frazioni, alle quali sono applicabili tutte le regole per il calcolo con le frazioni.

L'equazione $b : h = 1 : 2$ *ossia* $\frac{b}{h} = \frac{1}{2}$ è una *proporzione.*

Si chiama proporzione l'uguaglianza di due rapporti. Consideriamo un po' più attentamente la seguente proporzione: $a : b = 2 : 3$, ossia, scritta sotto forma di frazione, $\frac{a}{b} = \frac{2}{3}$. Un'uguaglianza sussiste sempre, se si compiono le medesime operazioni su entrambi i membri. Cominciamo allora a moltiplicare entrambi i membri per b: $\frac{a}{b} \cdot b = \frac{2}{3} \cdot b$. Il primo membro si può semplificare per b: $a = \frac{2}{3} \cdot b$. Moltiplichiamo ora entrambi i membri per 3: $3 \cdot a = 3 \cdot \frac{2}{3} \cdot b$. Questa volta si può semplificare a destra per 3, e rimane quindi $3 \cdot a = 2 \cdot b$. Per confrontarla col risultato, scriviamo nuovamente la proporzione primitiva: $a : b = 2 : 3$.

Osservate attentamente le due ultime espressioni. Entrambe dicono la stessa cosa, poichè l'equazione sopra riportata è ricavata dalla proporzione. Se in una proporzione designiamo come *termini medi quelli situati ac-*

canto al segno d'uguaglianza, nel nostro caso b e 2, e come *termini estremi* gli altri, quindi, nell'esempio, a e 3, dobbiamo affermare che:

Il prodotto dei termini medi è uguale al prodotto dei termini estremi.

Controllate questa proposizione fondamentale coll'esempio:

Problema 1: Un pezzo di acciaio magnetico, appoggiato di costa, ha le seguenti dimensioni: larghezza b = 15 mm, altezza h = 80 mm. Qual è il rapporto della larghezza all'altezza?

Soluzione: Il rapporto della larghezza all'altezza è $b : h$. Inseriamo le misure date: $b : h = 15 : 80$, ossia $\frac{b}{h} = \frac{15}{80}$. Il secondo membro può essere semplificato per 5: $\frac{b}{h} = \frac{3}{16}$ ossia $b : h = 3 : 16$. Il rapporto della larghezza all'altezza è quindi *3 : 16.*

Problema 2: Un trave è alto 28 cm. Quanto deve essere largo, se il rapporto deve essere $b : h = 5 : 7$?

Soluzione: Deve essere $b : h = 5 : 7$. Incognita è la larghezza b. Invece è nota l'altezza h = 28 cm. Inseriamo il numero 28 al posto della lettera h nella proporzione: $b : 28 = 5 : 7$ ossia $\frac{b}{28} = \frac{5}{7}$. Risolviamo l'equazione per b: $b = \frac{5 . 28}{7} = 20$. La larghezza deve essere quindi *20 cm.*

Negli esempi seguenti sono date delle proporzioni, nelle quali x è incognita. Si deve determinare il valore di x.

Problema 3: $x : 3 = 15 : 5$.

Soluzione: $\frac{x}{3} = \frac{15}{5}$; $x = \frac{15 . 3}{5}$; $x = 9$.

Problema 4: $20 : x = 10 : 4$.

Soluzione: Il prodotto dei medi è $10 . x$, quello degli estremi $4 . 20 = 80$. Possiamo scrivere quindi la semplice equazione: $10 . x = 4 . 20$; $x = \frac{4 . 20}{10} = 8$.

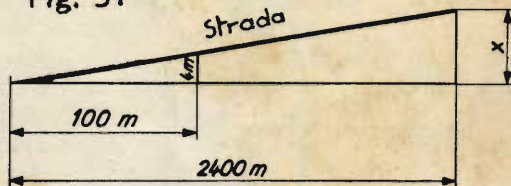
Problema 5: Una fotografia possiede il formato di 9 per 12 cm; ossia è larga 9 cm e alta 12 cm. Si vuol farne un ingrandimento, in modo che l'altezza diventi 18 cm. Quale sarà la larghezza dell'ingrandimento?

Soluzione: Chiamiamo x la larghezza della fotografia, ancora incognita. Naturalmente il rapporto della larghezza all'altezza è il medesimo anche dopo l'ingrandimento. x sta dunque a 18 (rapporto della larghezza all'altezza dell'ingrandimento) come 9 a 12 (rapporto della larghezza all'altezza della fotografia originaria). Quindi $x : 18 = 9 : 12$. Prodotto dei medi = $18 . 9$; prodotto degli estremi = $x . 12$; quindi $x . 12 = 18 . 9$; $x = \frac{18 . 9}{12}$; $x = 13{,}5$ *cm.*

Problema 6: Una strada lunga m 2400 sale uniformemente di 4 metri ogni 100 metri. Qual è la salita complessiva della strada? (vedi fig. 31).

Fig. 31

Soluzione: Il dislivello complessivo sia x. Poichè la salita è uniforme, il dislivello complessivo x sta all'intiera lunghezza della strada come il dislivello di 4 m alla lunghezza di 100 m. Otteniamo quindi la proporzione: $x : 2400 = 4 : 100$, ossia $4 . 2400 = 100\,x$, che risolta per x dà: $\frac{4 . 2400}{100} = 96$ *m.*

La salita complessiva della strada equivale dunque a *96 metri.*

TELEFONIA

L'induttore a manovella

Per ben comprendere il funzionamento di un induttore a manovella, dobbiamo rifarci alle leggi fondamentali dell'elettromagnetismo. Fin dalla Dispensa N. 4 ci siamo occupati, nel Capitolo sugli strumenti a bobina mobile, dei fondamenti dell'induzione elettromagnetica: avete appreso in quell'occasione che un conduttore, per-

corso dalla corrente e giacente in un campo magnetico, è sottoposto a una forza che lo costringe a muoversi. Vi ricordate sicuramente delle nostre spiegazioni, che servivano ad illustrare il funzionamento degli strumenti a bobina mobile. Stabiliamo i seguenti fatti:

Un conduttore situato tra i poli di un magnete permanente viene deviato quando è percorso dalla corrente. Si consuma quindi dell'energia elettrica, e si ottiene il movimento del conduttore, ossia dell'energia meccanica.

Procediamo ora nel modo inverso ed esaminiamo i fenomeni che avvengono, quando il conduttore viene costretto meccanicamente a muoversi, nel campo di un magnete permanente. Invece di consumare dell'energia elettrica per ottenere energia meccanica, come facevamo prima, *spendiamo energia meccanica per ottenere, come sicuramente già vi aspettate, energia elettrica.* Vediamo un po' come ciò avvenga.

La generazione magnetoelettrica di tensione

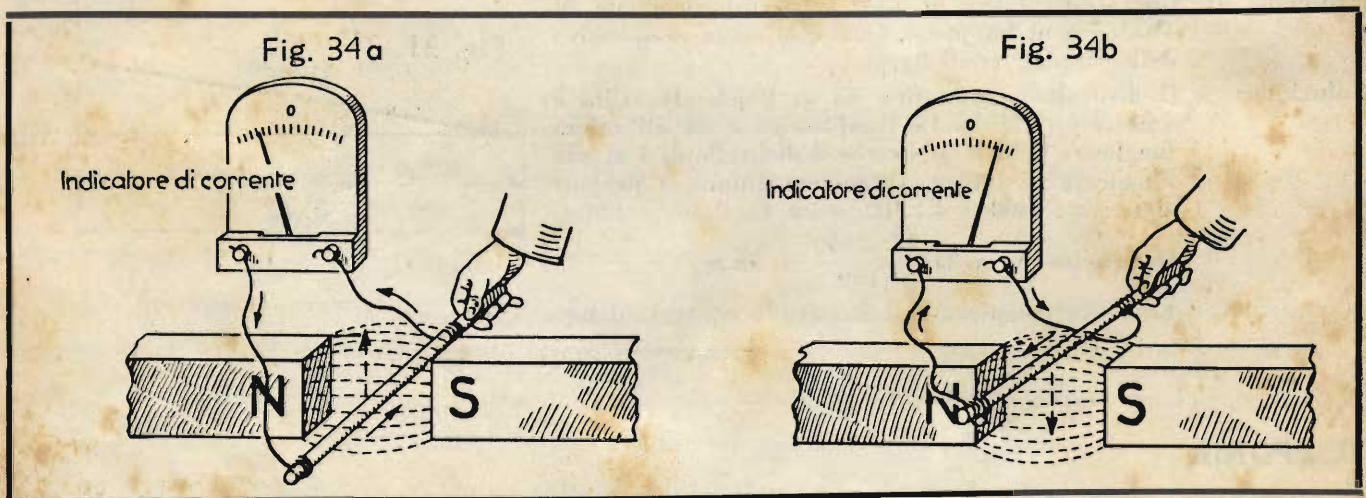
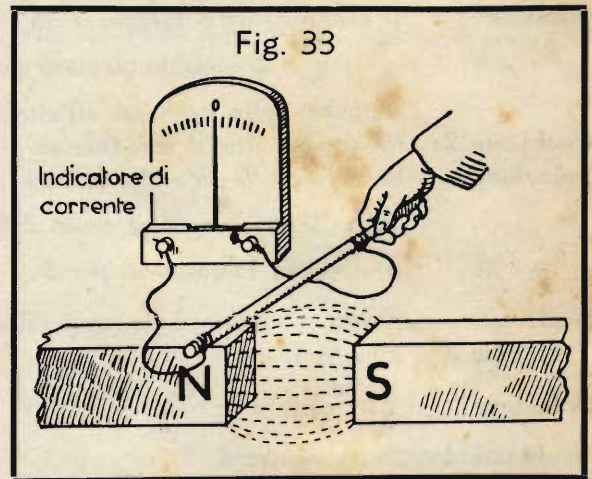
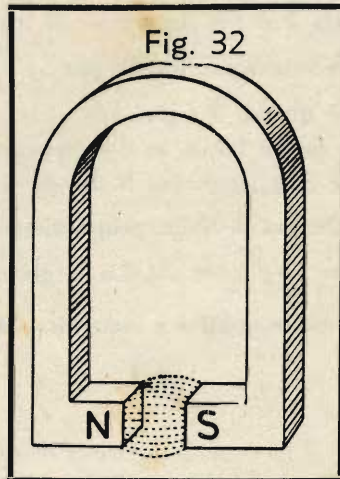
È noto che tra i poli di una calamita a ferro di cavallo si manifesta un forte campo magnetico (fig. 32). Se in questo si immerge un conduttore diritto, le cui estremità siano collegate con un amperometro, quest'ultimo subisce una deviazione (fig. 33). *L'amperometro usato per il nostro esperimento è fatto in modo, da spostare l'indice verso sinistra, quando la corrente ha una determinata direzione, e verso destra quando ha la direzione opposta.* Quando non circola alcuna corrente nel circuito, l'indice dello strumento si trova nella posizione verticale, cioè sullo zero. Potremmo fabbricare noi stessi un dispositivo di questo genere, facendo in modo che lo zero di uno strumento a bobina mobile venga a trovarsi nel centro della scala.

Fig. 32

Fig. 33

Se il conduttore viene spostato dall'alto verso il basso, come disegnato nella fig. 34-*a*, l'indice si sposterà, per esempio, verso destra: ciò denota la presenza di una corrente nel conduttore. Continuando il movimento del conduttore verso il basso, fino a farlo nuovamente uscire dal campo magnetico, possiamo constatare che la corrente indicata dall'amperometro diventa sempre più debole. Se invece riportiamo il conduttore nel campo magnetico, spostandolo dal basso verso l'alto, si forma una corrente di direzione opposta; infatti l'indice dell'amperometro subisce una deviazione verso sinistra (fig. 34-*b*).

Notiamo dunque che *l'escursione dello strumento raggiunge il massimo, quando il conduttore passa per il centro del campo magnetico.* Verso entrambi i lati la corrente s'indebolisce, e scompare addirittura del tutto non appena il conduttore si trovi fuori del campo magnetico. Da quanto abbiamo detto si rileva che, *nel conduttore, viene generata una corrente soltanto nel momento in cui esso viene mosso nell'interno del campo magnetico. Quando il conduttore è immobile non fluisce alcuna corrente, neppure se esso si trova in mezzo al campo magnetico.*

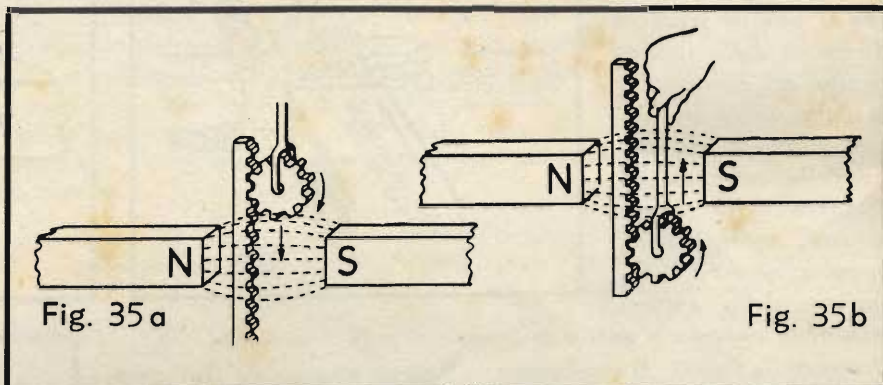
Fig. 34a Fig. 34b

La corrente generata è tanto più intensa, quanto maggiore è il numero di linee di forza *tagliate* nell'unità di tempo, (per esempio in un secondo). Sopra e sotto i poli della calamita si trovano solo poche linee di forza, tra i poli ve ne sono invece moltissime; ciò spiega il fatto che la corrente, generata dal moto del conduttore, sia

dapprima debole e vada aumentando, man mano che il conduttore si avvicina al centro del campo magnetico. Comprenderete anche perchè la corrente torni a diminuire, dopo aver superato il centro del campo; infatti il numero di linee di forza, tagliate dal conduttore in un secondo, diviene più piccolo, finchè sotto ai poli non esistono più linee di forza e la corrente cessa del tutto.

Se il conduttore, rappresentato nelle figure 34-*a* e 34-*b*, *viene spostato da destra verso sinistra (cioè da un polo all'altro), non viene generata alcuna corrente, poichè in questo caso le linee di forza non vengono tagliate.* Di particolare importanza è la nostra osservazione che, *invertendo la direzione del moto del conduttore, cambia anche la direzione della corrente generata.*

Per ricordare più facilmente quest'ultimo fatto potete figurarvi, com'è indicato nelle figure 35-*a* e 35-*b*, il campo magnetico rappresentato da un settore dentato ed il conduttore sostituito da una ruota dentata, che viene spostata in su e in giù lungo il settore stesso. Spostando l'ingranaggio verso il basso, esso ruoterà nel senso delle lancette dell'orologio; spostandolo verso l'alto, nel senso opposto.

Fig. 35a
Fig. 35b

Avete già imparato che, in un circuito chiuso, circola corrente soltanto quando si manifesta una tensione elettrica, che metta in moto l'elettricità presente in qualsiasi punto del circuito. Ciò deve valere naturalmente anche per la corrente generata in un conduttore, che venga mosso attraverso un campo magnetico. L'attraversamento delle linee di forza produce o, come si dice. « *induce* » nel circuito una tensione elettrica. La tensione elettrica, così generata, viene chiamata « *forza elettromotrice indotta* », abbreviatamente « *f.e.m.* ». L'origine di questa parola non ha nulla a che vedere con un treno elettrico; essa significa semplicemente che *la f.e.m. è una forza, che costringe l'elettricità del circuito a mettersi in moto.* La corrente provocata dalla f.e.m. indotta viene chiamata « *corrente indotta* », benchè effettivamente non sia la corrente, ma la sua causa, cioè la f.e.m., quella che viene indotta.

La generazione di una tensione elettrica in un conduttore che *taglia* un campo magnetico, si chiama « *induzione elettromagnetica* ». Questo fenomeno venne scoperto nel 1831 dal fisico Faraday ed è espresso dalla cosiddetta « *legge dell'induzione* » (detta anche « *legge di Faraday* »), la quale appunto dice che *in un conduttore, mosso in un campo magnetico in modo da tagliare le linee di forza, viene indotta una f.e.m.*

Ripetiamo dunque che la *tensione indotta* è tanto maggiore, quanto più numerose sono le linee di forza tagliate in un secondo. Il valore della f.e.m. dipende quindi dalla velocità con cui si sposta il conduttore, oltre che dall'intensità del campo magnetico.

Vi abbiamo già detto che viene generata, dapprima, una *tensione indotta*, la quale, a sua volta, provoca una corrente indotta nel circuito. La legge di Faraday chiama questa tensione indotta « *forza elettromotrice* » (f.e.m.). Ci chiederete forse che differenza intercorra tra i due concetti di *tensione* e di *f.e.m.*; cercheremo perciò di rispondere a questa domanda.

Supponete che ai capi del conduttore in movimento sia allacciato, in luogo dell'amperometro della fig. 33, un *voltmetro*, cioè un *misuratore di tensione*. Precisiamo che il voltmetro dev'essere a basso consumo, deve cioè abbisognare, per il suo funzionamento, di una corrente così piccola da essere trascurabile.

Uno strumento di questo genere indicherebbe la forza elettromotrice, cioè la *pressione*, che sospinge l'elettricità. Se ai capi del conduttore allacciamo ora un consumatore, questo assorbirà naturalmente una corrente e nel medesimo tempo constateremo che l'indicazione del voltmetro è diminuita. Da che cosa dipende questa variazione? Per spiegarlo, basta ricordare la legge di Ohm e la circostanza che lo stesso conduttore in movimento è dotato di una certa resistenza. Quando la corrente circola nel consumatore, e quindi anche nello stesso conduttore in movimento, si produce in quest'ultimo una *caduta di tensione* che, secondo la legge di Ohm, è tanto maggiore, quanto più grandi sono l'intensità di corrente e la resistenza del conduttore.

Ciò spiega perchè il voltmetro segni ora una tensione inferiore; è ovvio che l'indicazione del voltmetro equivale alla differenza tra la f.e.m. e la caduta di tensione nel conduttore. Quella che misuriamo, è la *tensione indotta* sotto carico, che vogliamo chiamare « *tensione ai morsetti* ». Poichè la *tensione ai morsetti* dipende dalla resistenza interna del conduttore in movimento, nonchè dalla corrente erogata, si preferisce riferirsi sempre alla effettiva *tensione primitiva* nell'interno della sorgente di tensione, ossia alla forza elettromotrice.

Riassumendo:

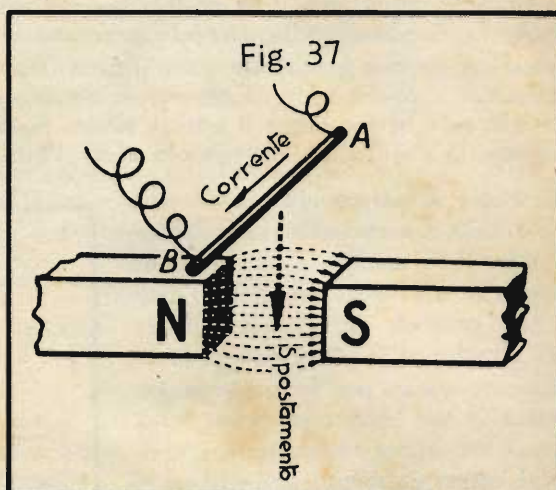
La f.e.m. è una forza insita nella sorgente di tensione, sotto forma di una tensione elettrica, che provoca il passaggio di una corrente, tanto all'esterno che all'interno della sorgente di tensione. La f.e.m. può essere misurata ai morsetti della sorgente quando il circuito è aperto e non circola quindi alcuna corrente.

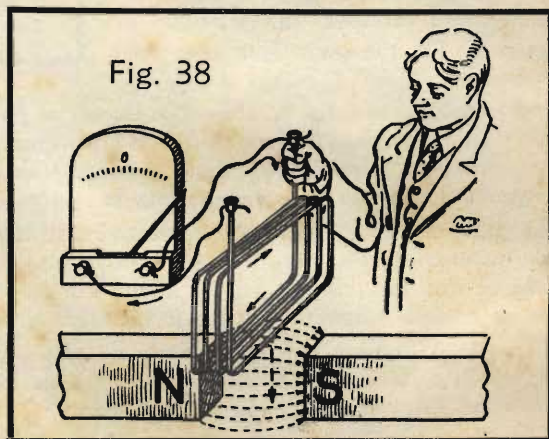
Chiudendo il circuito, la tensione che si presenta ai morsetti della sorgente diviene più piccola; essa è la tensione ai morsetti V_e. La differenza tra la forza elettromotrice e la tensione ai morsetti è la *caduta interna di tensione*, dovuta alla resistenza, che ostacola il flusso degli elettroni nell'interno della sorgente di corrente.

Quanto precede dovrebbe bastare per aver chiarito completamente il concetto della forza elettromotrice; rivolgiamoci quindi nuovamente alla generazione di tensione per mezzo dell'induzione.

La regola della mano destra

Per determinare la direzione della f.e.m. e della corrente, nel conduttore in movimento nel campo magnetico, ci si serve della cosiddetta « *regola della mano destra* », rappresentata graficamente nella fig. 36. Essa ha il seguente tenore:

Ponendo la mano destra tra i poli magnetici, in modo che il palmo sia rivolto verso il polo nord, il dorso verso il polo sud, e che il pollice segni la direzione dello spostamento del conduttore, le punte della dita indicheranno la direzione della corrente. La direzione della corrente sarà, naturalmente, opposta, qualora la direzione dello spostamento sia opposta a quella indicata dal pollice nella fig. 36.

Osservate la fig. 37. Il conduttore *A-B* viene mosso dall'alto verso il basso (cioè *in direzione opposta a quella indicata dal pollice*) attraverso il campo magnetico, tra i poli N e S. In base alla regola della mano destra, la f.e.m. indotta provoca una corrente che fluisce da *A* verso *B*.

Se in luogo di uno solo, si immergono nel campo magnetico vari conduttori, purchè questi siano collegati tra loro in modo adeguato, la tensione generata viene moltiplicata. Si ottiene così una bobina, della quale si può immergere nel campo magnetico, o estrarre da esso, un solo lato, come è disegnato nella fig. 38.

Con gli esperimenti ora descritti avete conosciuto il principio di funzionamento del *generatore elettrico*, che è un *generatore di tensione e non di corrente*, come viene spesso erroneamente designato. Quest'ultima espressione, infatti, è sbagliata perchè, come sapete, gli elettroni non vengono generati, poichè già esistono, ma sono semplicemente costretti a muoversi; la causa di tale movimento è quello che si chiama una « *tensione* ».

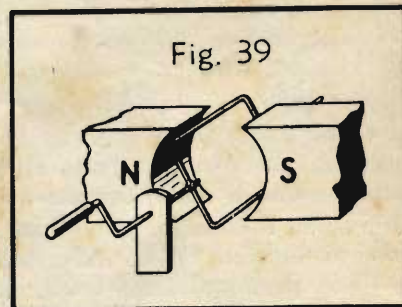
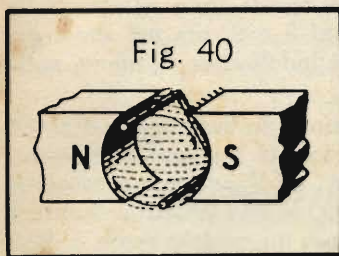
È giusto quindi parlare di sorgente di tensione, benchè si senta sempre ripetere l'espressione « *sorgente di corrente* ». Voi però sapete ormai di che cosa di tratti. Osserviamo d'altronde a questo proposito che anche la espressione « *consumatore di corrente* » è sbagliata. La corrente non si consuma, perchè gli elettroni non vanno persi. In un *consumatore* la stessa corrente, e quindi il medesimo numero di elettroni, esce da una parte come entra dall'altra. Si può parlare invece di « *consumatore di tensione* », poichè la tensione viene effettivamente *consumata*.

Le tensioni generate col dispositivo della fig. 38 sono di gran lunga troppo deboli per le esigenze della pratica. Si tratta per ora soltanto di esperienze, che vi devono dare la possibilità di fissare bene i concetti fondamentali. Conoscerete tra breve un generatore di tensione, che viene usato in telefonia; occorrono però prima ancora alcune spiegazioni di principio.

Il generatore magnetoelettrico (dinamo)

Nella fig. 39 sono rappresentati due poli magnetici *N* e *S*, entro il campo magnetico dei quali è posta una spira conduttrice, sistemata in modo da poter ruotare. Al fine di sfruttare nel miglior modo il campo magnetico, i poli sono dotati di una forma ricurva. Immaginando di sezionare tutto il dispositivo, tanto i poli che la spira, si ottiene la fig. 40.

Supponiamo ora che la spira venga fatta ruotare entro il campo magnetico nel senso delle lancette dell'orologio. Nella fig. 41 sono rappresentate varie posizioni della spira ruotante.

Poichè ruotando entro il campo magnetico la spira taglia le linee di forza, viene indotta nella spira stessa una f.e.m. e quindi una corrente. Mentre la metà superiore della spira, contrassegnata nella fig. 41 dal numero « 1 », si sposta da 1 a 2, essa taglia già alcune linee di forza. Continuando nella

rotazione e spostandosi da 2 a 3 la metà della spira taglia un numero maggiore di linee di forza, e più ancora mentre passa da 3 a 4 e da 4 a 5. Poi il numero delle linee di forza tagliate diminuisce di nuovo, finchè nella posizione 7 la spira si muove parallelamente alla direzione delle linee di forza e quindi non ne taglia alcuna.

Vogliamo provare ora a determinare la direzione della f.e.m. e della corrente nella metà spira considerata, mentre si sposta da 1 a 7.

Nella posizione 1 non viene indotta nessuna f.e.m., poichè non viene tagliata alcuna linea di forza. Quindi non circola nemmeno corrente. Nella posizione 2 viene indotta una piccola f.e.m. e passa quindi una debole corrente, come si può constatare con l'aiuto della *regola della mano destra*, in direzione dal dal fondo in avanti. Questa direzione della corrente è indicata nella fig. 41 da un punto posto nel mezzo del circoletto che rappresenta la sezione del conduttore. Conformemente allo schizzo dimostrativo della fig. 41 in basso, questo *punto* significa la *punta* della freccia, mentre la *coda* della freccia, che dobbiamo figurarci dotata di penne, è indicata con una *crocetta.* Quindi il punto significa che la corrente viene verso di voi, la crocetta, che essa si allontana. Questi segni convenzionali sono già stati spiegati nella Dispensa N. 4, fig. 49.

La fig. 41 riporta dunque la direzione della f.e.m. e quindi della corrente nella metà superiore della spira. Mentre la spira si sposta dalla posizione 1 alla posizione 6, la corrente scorre verso di noi; essa cresce dapprima, fino a raggiungere l'intensità massima quando la mezza spira si trova nella posizione 4. Poi sia la f.e.m., che la corrente, diminuiscono e raggiungono lo zero nella posizione 7.

Nella posizione 8 la corrente ricomincia a fluire, ma in direzione opposta, poichè la f.e.m. ha cambiato di direzione. Entrambe aumentano fino alla posizione 10, per poi ritornare lentamente a zero mentre la mezza spira raggiunge la posizione iniziale in 1.

La spira è però costituita da due metà, visibili entrambe in sezione nella fig. 40. Quando, per esempio, una metà è nel punto 1, l'altra si trova nel punto 7. Esaminiamo quindi ciò che accade in quest'altra metà, che da 7 si sposta in 8, 9, 10, 11, 12, 1, 2, ecc., fino a ritornare in 7.

Come risulta dalla fig. 41, nella posizione 8 si manifesta una debole f.e.m. diretta dal lato anteriore al fondo. Questa f.e.m. aumenta fino alla posizione 10, per poi decrescere fino alla posizione 1, ove non viene indotta più alcuna f.e.m. Si vede dunque che *la f.e.m. indotta nella metà inferiore della spira ha la direzione opposta a quella indotta nella metà superiore. Poichè però la spira è chiusa posteriormente, le due f.e.m. si sommano e si ottiene in tal modo una f.e.m. di valore doppio.*

Ciò vale in qualsiasi posizione della spira. Per esempio nella posizione 4-10 si ha nella metà di destra (posizione 4) una f.e.m. rivolta verso di noi, nella metà di sinistra (posizione 10) una f.e.m. diretta verso il fondo. La f.e.m. e la corrente risultanti sono quindi doppie di quelle che verrebbero indotte in un conduttore isolato, equivalente ad una metà della spira, che ruotasse nel campo magnetico.

Se per mezzo di uno strumento di misura determinassimo il valore della tensione e dell'intensità di corrente nelle successive posizioni della spira, troveremmo che la f.e.m. e la corrente dapprima crescono, poi decrescono, raggiungendo lo zero e lo oltrepassano, poichè invertono subito dopo la loro direzione, diventando *negative*. Anche in direzione negativa la f.e.m. e la corrente aumentano fino a raggiungere un'intensità massima, per ritornare quindi a zero.

Si riscontra quindi che *nella spira ruotante vengono generate una tensione alternata ed una corrente alternata*, rappresentata graficamente per mezzo della curva della fig. 42. Si ottiene questa curva misurando l'intensità della corrente nella spira, a intervalli uniformi, mentre essa ruota, e riportando tali valori partendo da un asse orizzontale. Ricordate a questo proposito il Capitolo sulla *Corrente alternata* nella Dispensa N. 5.

Torniamo alla fig. 41 e osserviamo dapprima la metà superiore della spira. Nella posizione 1 non fluisce corrente; facciamo quindi nella rappresentazione grafica della fig. 42, un punto sulla linea di zero in corrispondenza alla posizione 1. Nella posizione 2 si ha già una debole corrente; l'altezza della curva sopra il punto 2, nella fig. 42, esprime l'intensità di corrente in questo istante. Nella posizione 3 la corrente è ancora più intensa, e in 4 raggiunge il valore massimo, che risulta molto chiaramente dalla nostra curva della

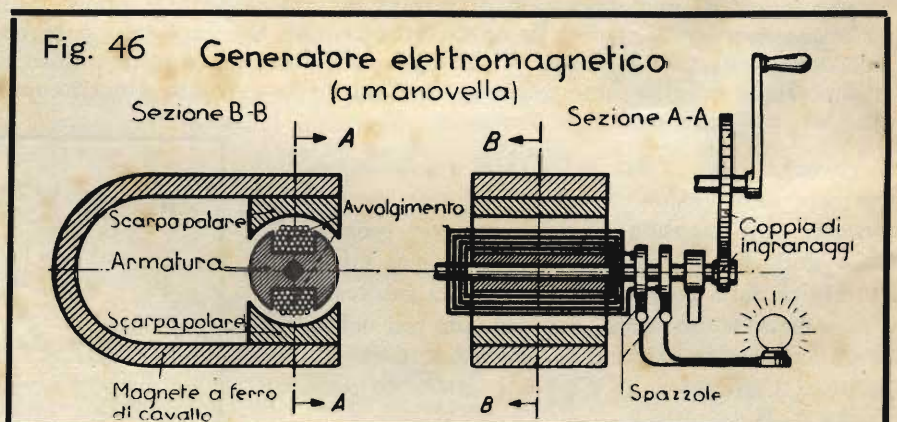
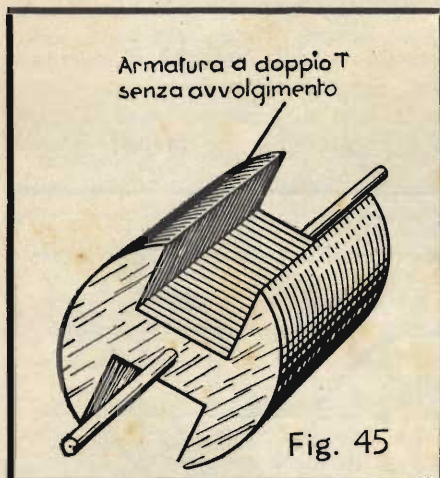
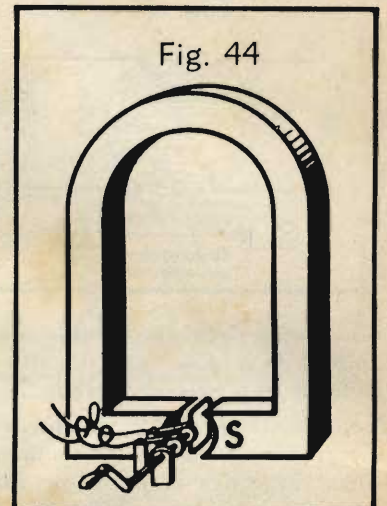
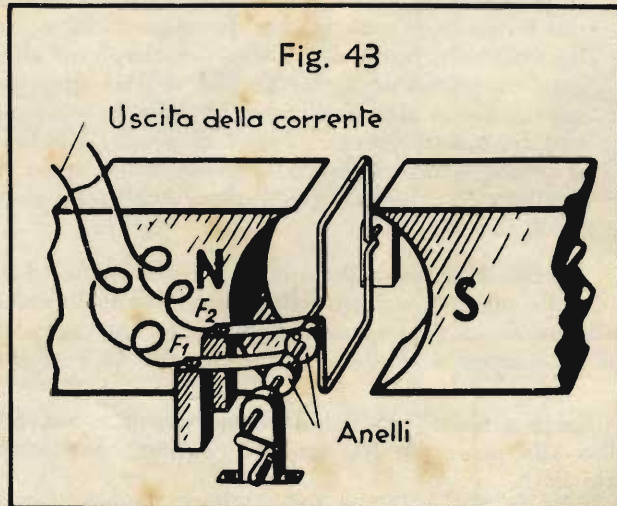
fig. 42. Nelle posizioni successive 5 e 6 l'intensità della corrente diminuisce e raggiunge la linea di zero nella posizione 7; la corrente inverte poi la direzione aumentando di nuovo nelle posizioni 8 e 9, ma nel senso *negativo*. Nella posizione 10 si raggiunge il minimo (*massimo negativo*); la corrente si indebolisce di nuovo nelle posizioni 11 e 12 e tocca nuovamente la linea di zero nella posizione 13 (= 1).

Per poter derivare la corrente alternata generata nella spira, si utilizza la disposizione indicata nella fig. 43. Si fanno terminare i capi della spira ai due cosiddetti « *anelli* », fissati sull'asse e isolati tra loro, e ruotanti solidalmente con la spira. *La corrente si preleva per mezzo delle lamine striscianti F_1 ed F_2, dette « spazzole »*. Come abbiam detto in precedenza, i poli magnetici *N* e *S* non sono che le estremità di una grossa calamita a ferro di cavallo. Il nostro piccolo generatore di corrente potrebbe quindi presentarsi, in realtà, come è disegnato nella fig. 44.

Quanto più rapidamente viene fatta girare la manovella e tanto più aumenta la tensione, che si misura tra le spazzole F_1 ed F_2. Essa basterebbe per accendere una piccola lampadina.

Poichè abbiamo interesse a far sì che la tensione ricavata sia la più elevata possibile, esaminiamo quali mezzi permettono di raggiunger tale scopo. Potremmo utilizzare, per esempio, un magnete più forte. Riflettendo meglio troverete però un'altra possibilità: quella di usare una bobina con molte spire, in luogo di una spira sola, come quella della fig. 44. *Se si fa ruotare nel campo magnetico una bobina con due, tre o più spire, la tensione verrà moltiplicata per due, tre o più volte.*

Abbiamo quindi a disposizione un mezzo semplice per aumentare la tensione a piacimento, entro determinati limiti.

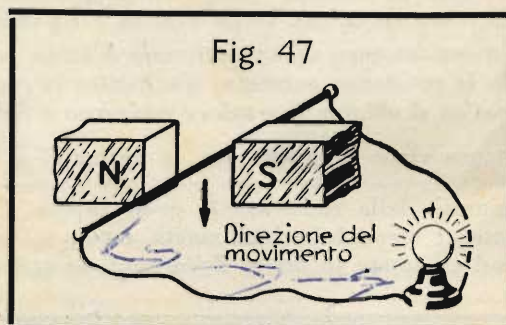
Va inoltre considerato un altro particolare costruttivo, che consente di aumentare il valore della tensione indotta, sfruttando meglio l'energia magnetica della calamita. È noto che ogni percorso nell'aria costituisce un ostacolo rilevante per le linee di forza magnetiche. Basta quindi riempire lo spazio compreso tra le espansioni polari con un materiale che costituisca un buon conduttore per le linee di forza magnetiche, pur non essendolo per la corrente elettrica. Questo materiale è il *ferro dolce*. Per questa ragione *le spire ruotanti vengono avvolte su un cilindro di ferro*, il quale è dotato di cosiddette « *cave* », cioè di scanalature longitudinali, entro le quali viene collocato l'avvolgimento, in modo da permettere un buon fissaggio e, nel medesimo tempo, limitare il percorso delle linee di forza nell'aria (il traferro), al minimo indispensabile.

La fig. 45 mostra tale cilindro di ferro, che viene chiamato « *rotore* », perchè è sottoposto a rotazione, oppure « *ancora* » perchè, come l'ancora dei relè, è un pezzo di ferro dolce, destinato a chiudere il campo magnetico tra un polo e l'altro del magnete. Avendo due cave, il rotore assume la forma di un I (doppio T), e viene chiamato appunto « *rotore a doppio T* ». *Tutte le parti che ruotano appartengono al rotore.* L'avvolgimento del rotore si chiama anche « *indotto* », perchè in esso viene indotta la f.e.m. *Le parti che non si muovono, e quindi in particolare la calamita, costituiscono lo statore.*

Nella fig. 46 è rappresentata schematicamente una piccola dinamo, generatrice di corrente alternata, usata in telefonia. Poichè, come già sapete, la tensione indotta nelle spire durante la rotazione dipende dal numero di linee di forza, tagliate nell'unità di tempo, è chiaro che, aumentando il numero dei giri, si ottiene una potenza maggiore. Per poter provocare una rotazione rapida, il generatore è dotato di un ingranaggio interposto tra l'albero della manovella e quello del rotore. Nella figura sono riportate due sezioni della macchina. Nella sezione *A-A* le spire dell'avvolgimento sono rappresentate schematicamente, per semplicità di disegno.

Una dinamo di questo tipo consente già di ottenere dei ragguardevoli risultati. È possibile, p. es., accendere una lampadina, allacciandola alle spazzole. I cosiddetti « *magneti d'accensione* » o « *spinterogeni* » delle motociclette sono costruiti in base al medesimo principio.

Piccoli generatori di questo tipo vengono ancora usati in telefonia; essi sono noti sotto il nome di « *induttori a manovella* » e servono, come avete già appreso, ad azionare la suoneria della stazione comunicante.

Domande

1. Un induttore a manovella, come quello rappresentato nella figura 46, genera corrente continua o alternata?
2. Qual è la direzione della corrente indotta nel circuito qui accanto? (fig. 47).
3. Come si chiamano gli organi che in un generatore magnetoelettrico servono per il prelevamento della corrente?
4. Come si fa ad aumentare la tensione erogata da un generatore magnetoelettrico?

Risposte alle domande di pag. 7

1. Gli elettrodi di una valvola termoionica semplice si chiamano anodo, catodo e griglia.
2. Gli elettroni fluiscono nell'interno della valvola dal catodo all'anodo.
3. In un tubo elettronico, privo di griglia, la corrente elettronica dipende dal materiale costituente il filamento, dalla conformazione della superficie e dalla temperatura dello stesso, nonchè dalla tensione anodica.
4. Un'elevata carica negativa di griglia provoca la diminuzione della corrente elettronica, o addirittura la soppressione della stessa.

Risposte alle domande di pag. 14

1. Il microtelefono è un'impugnatura, che porta all'estremità superiore un ricevitore telefonico, a quella inferiore un microfono. Secondo lo schema dell'impianto telefonico, l'impugnatura può essere dotata di contatti ausiliari, che sono da premere durante la conversazione.
2. Il ricevitore a impugnatura è un'impugnatura che porta soltanto il ricevitore telefonico, ma non il microfono.
3. Quando il microfono è fissato alla custodia dell'apparecchio telefonico, può facilmente accadere che i granuli di carbone si saldino tra loro e che si debba picchiettare sulla capsula microfonica per farli distaccare. Ciò avviene meno facilmente nel microtelefono, essendo questo sottoposto a continui movimenti ed a scosse.

ELETTROTECNICA GENERALE

Calcolo di resistenze

Se prendiamo vari fili metallici, tutti della sezione di 1 mm² (un millimetro quadrato), e li tagliamo tutti della lunghezza di un metro, constatiamo che, ciononostante, la resistenza dei vari fili è differente.

La ragione di questa diversità è insita nel materiale di cui sono costituiti i fili. Certi materiali rappresentano per la corrente elettrica un ostacolo maggiore di certi altri. L'*argento* ed il *rame lasciano passare la corrente assai facilmente*; l' *alluminio rende il passaggio un po' più difficile*, il *ferro lo ostacola ancor maggiormente* ed infine i cosiddetti « *materiali per resistenze elettriche* », come *nichelina, manganina, costantana*, ecc., costituiscono degli *ostacoli veramente elevati per la corrente elettrica.*

Il materiale da usare viene scelto in base allo scopo che ci si prefigge. Quando si richiede un ottimo conduttore e la massima limitazione delle perdite nelle linee, il materiale più adatto sarebbe l'*argento.* Però questo metallo nobile è, nella maggior parte dei casi, troppo costoso, Si usa perciò quasi sempre il *rame*, che conduce la corrente quasi altrettanto bene. *Quando la linea deve pesare poco*, si usa alluminio, che presenta però una resistenza superiore di 1,7 volte a quella del rame.

Quando non si tratta di trasportare la corrente, ma di limitarla, come per esempio nelle resistenze addizionali degli strumenti di misura, nei reostati d'avviamento dei motori elettrici, oppure nelle resistenze riscaldanti delle stufette elettriche, si usano gli appositi materiali per resistenze: *nichelina, manganina, costantana, nichelcromo* e simili.

Per essere in grado di calcolare delle resistenze, dovete conoscere dapprima il concetto della *resistenza specifica* o *resistività*.

La resistenza di un filo lungo un metro e della sezione di 1 mm² si chiama « resistività » del materiale di cui è costituito il filo.

Il concetto della *resistenza specifica* ricorda quello del peso specifico, col quale vogliamo quindi confrontarlo. Come per esprimere il peso specifico ci si riferisce al peso di un cubo di 1 dm di lato, così per la resistenza specifica ci si riferisce ad un filo lungo 1 m e della sezione di 1 mm².

Avrete certamente già consultato delle tabelle elencanti il peso specifico dei materiali; esistono pure tabelle che riportano la resistenza specifica. Qui di seguito è riportata una tale tabella, riguardante i materiali più usati in elettrotecnica.

Accanto al concetto della *resistività* si usa spesso anche il suo reciproco, cioè quello della *conduttività* (*conduttanza specifica*). Nella tabella è riportata anche questa grandezza.

La conduttanza di un materiale è tanto migliore, quanto più piccola è la sua resistenza, e ciò è evidente. Quando la resistenza aumenta, diminuisce la conduttanza e viceversa. La conduttanza è quindi quello che in matematica si chiama il « *valore reciproco* » della resistenza, un concetto che useremo spesso. Come sapete la resistenza viene designata con la lettera R e la conduttanza con G. Si può scrivere quindi $G = \frac{1}{R}$, oppure $R = \frac{1}{G}$.

L'unità della resistenza è, come sapete, l'*ohm*; l'unità della conduttanza ne è il reciproco, e nei paesi anglosassoni viene infatti chiamata « *mho* », mentre nel nostro continente si usa generalmente l'unità « *siemens* », così chiamata in onore dello studioso tedesco *Werner Siemens*.

Tabella N. 4	Resistività e conduttività di vari materiali a 20° C	
Materiale	Resistività ϱ	*Conduttività* $\varkappa$
Argento	0,017 a 0,016	59 a 62
Rame	0,0176	57
Alluminio	0,028 a 0,03	36 a 33
Zinco	0,063	15,9
Ottone	0,07 a 0,09	14,3 a 11,11
Nichel	0,1	10
Stagno	0,11 a 0,14	9,09 a 7,15
Ferro	0,13	7,7
Acciaio	0,1 a 0,2	10 a 5
Alpacca	0,35 a 0,50	2,86 a 2
Piombo	0,2	5
Nichelina	0,4	2,5
Manganina	0,43	2,33
Costantana	0,5	2
Mercurio	0,95	1,05
Nichelcromo	1,05 a 1,1	0,95 a 0,91
Kantal A-1	1,45	0,69
Grafite	13	0,08
Carbone	20 a 100	0,05 a 0,01

Se ci riferiamo al filo normale, lungo 1 m e della sezione di 1 mm², troviamo — come si è detto — che la conduttività non è che il valore reciproco della resistività.

Nei nostri calcoli introdurremo per la resistività la lettera greca « ϱ » (leggi *rò*).

Conoscendo il valore della resistività, è facile calcolare la resistenza di un conduttore, del quale siano date la lunghezza e la sezione.

Se un conduttore possiede, per caso, proprio la lunghezza di 1 metro e la sezione di 1 mm², la resistenza di questo conduttore è ϱ (resistività); in tal caso quindi $R = \varrho$.

Poichè *la resistenza aumenta proporzionalmente con la lunghezza*, un conduttore lungo 10 m avrà $R = \varrho \cdot 10$. Ciò è del tutto logico, se si pensa che gli elettroni devono percorrere un cammino 10 volte più lungo e che incontrano quindi un ostacolo 10 volte superiore.

Se designiamo la lunghezza con l, otteniamo la formula: $R = \varrho \cdot l$.

Come terza grandezza da considerare c'è però anche la *sezione* del conduttore. Ora è ovvio che, quanto più grande è la sezione, tanto più piccola diviene la resistenza, poichè in una sezione grande gli elettroni hanno più spazio a loro disposizione e sono quindi meno ostacolati.

Se, p. es., la sezione è uguale a 5 mm², si ha una resistenza che è la quinta parte di quella che si ha con una sezione di 1 mm². Designando la sezione con q, la resistenza si riduce di q volte.

La formula per il calcolo della *resistenza* è, in definitiva, la seguente:

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{q}$$ . . . . Formula (24)

dove significano:

l = lunghezza del conduttore in metri
q = sezione del conduttore in mm²
ϱ = resistività

Controlliamo gli effetti delle singole grandezze:

La resistenza

aumenta	diminuisce
col crescere della lunghezza del conduttore	col decrescere della lunghezza del conduttore
col decrescere della sezione	col crescere della sezione
con materiale che conduce peggio (ϱ ⟶ maggiore)	con materiale che conduce meglio (ϱ ⟶ minore)

La formula ora trovata (24) si può naturalmente invertire, servendosi delle regole già spiegate nel Capitolo sulle *Equazioni* nella Dispensa N. 1. Se non si cerca la resistenza, bensì la *sezione*, la *lunghezza* o la *resistività*, si trasforma la formula come segue:

$$q = \frac{\varrho \cdot l}{R}$$ . . . . Formula (24-*a*)

$$l = \frac{R \cdot q}{\varrho}$$ . . . . Formula (24-*b*)

$$\varrho = \frac{R \cdot q}{l}$$ . . . . Formula (24-*c*)

Esempi:

1. Qual è la resistenza di una linea di rame lunga 6 km e della sezione di 16 mm²?
   Prendiamo la formula principale e poniamo: l = 6 km = 6000 m; q = 16 mm², ϱ = 0,0176 (Tabella N. 4).
   Quindi otteniamo:
   $$R = \frac{\varrho \cdot l}{q} = \frac{0{,}0176 \cdot 6000}{16} = \frac{105{,}6}{16} = 6{,}6 \textit{ ohm.}$$

2. La resistenza di una linea di rame lunga 100 m non deve superare 0,5 ohm. Quale dev'essere la sezione minima del filo?
   Poichè si cerca la sezione, usiamo la formula (24-*a*).
   $$q = \frac{\varrho \cdot l}{R} = \frac{0{,}0176 \cdot 100}{0{,}5} = 3{,}52 \text{ mm}^2 \approx 3{,}5 \; mm^2.$$
   Le sezioni dei fili sono normalizzate; si usano, per esempio, le sezioni di 0,75; 1; 1,5; 2,5; 4; 6 mm², ecc. Nel nostro esempio sceglieremo il primo valore che supera quello calcolato, quindi *4 mm²*.

3. Di che materiale è costituito l'avvolgimento di un elettromagnete, se la lunghezza del filo è uguale a 20 m, la sezione a 4 mm² e la resistenza è di 0,14 ohm a 20° C?
   $$\varrho = \frac{0{,}14 \cdot 4}{20} = \frac{0{,}56}{20} = 0{,}028.$$
   Dalla Tabella N. 4, nella colonna della resistività, troviamo per ϱ = 0,028 il materiale *alluminio*.

Gettate uno sguardo sulla Tabella delle resistività. I valori di ϱ riportati nella colonna 2 non sono facili da ricordare, essendo generalmente frazioni decimali. È più facile ricordare dei numeri interi, come quelli riportati nella terza colonna. Per questa ragione si tien conto volontieri della conduttività dei materiali, che viene designata con la lettera greca $\varkappa$ (« *cappa* »).

Come abbiamo visto, la conduttività è il valore reciproco della resistività; la formula (24) si trasforma quindi nel modo seguente:

$$R = \frac{l}{q} \cdot \varrho = \frac{l}{q} \cdot \frac{1}{\varkappa}, \text{ e quindi:}$$

$$\boxed{R = \frac{l}{\varkappa \cdot q}} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formula (25)}$$

Risolvendo l'equazione per l'una o per l'altra incognita, si ottengono le seguenti formule derivate:

$$q = \frac{l}{\varkappa \cdot R} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formula (25-}a\text{)}$$

$$l = R \cdot \varkappa \cdot q \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formula (25-}b\text{)}$$

$$\varkappa = \frac{l}{q \cdot R} \quad \ldots\ldots\ldots \text{ Formula (25-}c\text{)}$$

Calcolate ora nel vostro quaderno i tre esempi sopra riportati, utilizzando però la conduttività. Dovete ottenere, naturalmente, il medesimo risultato di prima.

Dipendenza delle resistenze dalla temperatura

Vogliamo ora farvi conoscere l'effetto della quarta grandezza, che influisce sulla resistenza dei conduttori: la *temperatura.*

Infatti non è indifferente, a quale temperatura venga determinato il valore di una resistenza, poichè questo, in generale, varia con la temperatura. Se il valore di una resistenza viene determinato, per esempio, alla temperatura dell'ambiente, oppure addirittura allo stato di incandescenza, si ottengono dunque risultati differenti.

Nei calcoli precedenti è stato sempre tenuto conto di una *temperatura media di 20° C.* Anche nella Tabella N. 4 la resistività è indicata per la temperatura di 20° C. Questo dato non è però sufficiente, poichè vorremmo poter calcolare la resistenza di un conduttore anche ad un'altra temperatura.

Per raggiungere questo scopo bisognò determinare dapprima, per mezzo di esperimenti, l'aumento di resistenza di 1 ohm per 1° C. Il risultato di queste indagini permise di stabilire che l'aumento di resistenza dipende dal genere di materiale. I metalli buoni conduttori presentano, p. es., per grado di aumento di temperatura, un aumento di resistenza assai superiore a quello dei materiali cattivi conduttori.

Tabella N. 5

Materiale	Coefficiente temperatura α
Acciaio	+0,0045 a 0,0052
Alluminio	+0,0036 a 0,0043
Alpacca	+0,0003 a 0,0007
Argento	+0,0036
Carbone	—0,0003 a —0,0008
Costantana	—0,00003
Ferro	+0,0045
Grafite	—0,0002 a —0,0007
Kantal A-1	+0,00007
Manganina	±0,00001
Mercurio	+0,0009
Nichel	+0,0043
Nichelcromo	+0,00015 a 0,00025
Nichelina	+0,00013 a 0,00023
Ottone	+0,0013 a 0,0019
Piombo	+0,0040
Rame	+0,00392 a 0,00425
Stagno	+0,0044
Zinco	+0,0037

La resistenza di 1 ohm di un filo di rame aumenta di 0,00425 ohm per ogni grado di temperatura. La lega per resistenze Kantal A-1 presenta invece un aumento di soli 0,00007 ohm; la *Manganina* addirittura soltanto 0,00001 ohm. *Quest'ultimo materiale possiede un valore di resistenza praticamente costante a tutte le temperature*; il suo aumento di resistenza si trasforma spesso in diminuzione di resistenza, sempre però di entità trascurabile come appare nella Tabella. Tutto considerato, la manganina può essere ritenuta perfettamente costante.

Anche la lega per resistenze *Costantana* presenta qualità analoghe. Essa manifesta, semmai, *una leggerissima diminuzione di resistenza con l'aumento della temperatura.*

Il *carbone*, invece, si comporta in modo quasi diametralmente opposto a quello dei conduttori metallici. *Le resistenze fatte di carbone diminuiscono fortemente di valore con l'aumento della temperatura.*

L'*aumento di resistenza* di un filo da 1 ohm per 1° C di *aumento di temperatura* si chiama « *coefficiente di temperatura* » del materiale considerato. Coefficiente è un *fattore numerico*, col quale va moltiplicata una grandezza matematica.

Il *coefficiente di temperatura* viene designato dalla lettera greca α (*alfa*), che corrisponde al nostro « *a* ».

Nella Tabella N. 5, riportata qui a fianco, sono contenuti i coefficienti di temperatura di alcuni materiali.

Abbiamo detto che la resistenza di un ohm aumenta di α (coefficiente di temperatura) per ogni grado di aumento di temperatura. Se la temperatura aumenta per esempio di 20°, la resistenza

aumenta di a . 20; in generale, con un aumento di temperatura di t° C, si ha un aumento di resistenza di a . t ohm (a . t è l'aumento di resistenza di un filo da 1 ohm di resistenza). Pertanto occorre aggiungere il numero 1 al valore a . t per ottenere la resistenza alla temperatura di t° C. La formula diventa quindi:

$$Resistenza = 1 + a\,t$$

Questa formula vale però soltanto per una resistenza iniziale di 1 ohm. Se il conduttore ha una resistenza iniziale differente da 1 ohm, diciamo, in generale, uguale ad R ohm, dobbiamo moltiplicare tutta la formula per R e otteniamo la resistenza alla temperatura t° C; resistenza che designiamo con la sigla R_t. La formula diventa allora:

$$\boxed{R_t = R\,(1 + a\,t)} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad \text{Formula (26)}$$

Il valore t era l'aumento di temperatura o, in altre parole, la differenza di temperatura. Ponendo t_2 = temperatura superiore e t_1 = temperatura inferiore, la differenza e cioè $t_2 - t_1$ deve, evidentemente, equivalere alla grandezza t della formula (26). Sostituendo tale grandezza, otteniamo una variante della formula (26), e precisamente:

$$\boxed{R_t = R\,[1 + a\,(t_2 - t_1)]} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad \text{Formula (26-}a\text{)}$$

In cui:

R_t = resistenza alla temperatura finale
R = resistenza alla temperatura iniziale
a = coefficiente di temperatura
t_2 = temperatura superiore
t_1 = temperatura inferiore
$t_2 - t_1$ = differenza di temperatura (= t)

Lasciamo a voi di scegliere quella delle due varianti che preferite ritenere a memoria. Comunque, ciò che importa è che vi siano perfettamente chiare la derivazione e l'applicazione della formula stessa.

Ora che siete al corrente della dipendenza delle resistenze dalla temperatura, capirete senz'altro per quale ragione nelle tabelle si trovi spesso un'ulteriore annotazione accanto alla resistività ϱ; per esempio, si legge ϱ_{20}. Il numero 20 scritto in piccolo, in basso, accanto a ϱ, significa che la resistività indicata è valevole per la temperatura di *20° C*. Spesso si trova anche l'indicazione per la temperatura di *18° C*. Allora si scrive ϱ_{18}. Analogamente ϱ_{75} significa che questo valore si riferisce a *75° C*.

Il *coefficiente di temperatura* può essere *positivo* o *negativo*, a seconda che *il materiale considerato aumenti o diminuisca di resistenza col crescere della temperatura.* Se quindi il coefficiente è preceduto dal segno « — », come per esempio è indicato per la costantana, per la quale $a = -0{,}00003$, ciò significa che, aumentando la temperatura, la resistenza di questo materiale *diminuisce.* Se il coefficiente non riporta alcun segno (oppure, ciò che è la stessa cosa, porta il segno «+»), allora vuol dire che la resistenza *aumenta* col crescere della temperatura. Si noti che, quando a è negativo, anche il secondo termine nella parentesi della formula (26) diventa negativo e va quindi sottratto dall'1.

Naturalmente è possibile trovare il valore della resistenza anche alle temperature inferiori, per esempio, a 20° C. In questo caso si ha una diminuzione di temperatura, invece che un aumento. *Una diminuzione non è però altro che un aumento negativo e quindi il secondo termine nella parentesi cioè a . t diventa negativo, in quanto t è negativo. Ciò vale per il caso di un coefficiente di temperatura a positivo*: la resistenza diventa allora più piccola quando la temperatura diminuisce, come ce l'aspettavamo. *Se invece lo stesso a è negativo e anche t diventa negativo*, poichè esprime una diminuzione di temperatura, *allora otteniamo $-a$. $-t$ positivo*, poichè, com'è noto, *meno per meno fa più*. E quindi, *quando il coefficiente di temperatura è negativo e la temperatura diminuisce si ottiene un aumento di resistenza*, come ce lo conferma anche il semplice ragionamento.

Ricordate bene la formula (26), badate sempre ai segni e riflettete brevemente se è da attendersi un aumento oppure una diminuzione della resistenza. Così facendo eviterete gli errori.

Esempio: 1 Calcolare la resistenza di un filo di rame della sezione di 0,0314 mm² e della lunghezza di 1,35 km a 20° C e a 40° C.

Soluzione: La resistività del rame a 20° C è $\varrho = 0{,}0176$, valore che dobbiamo inserire nella formula (24).

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{q} = \frac{0{,}0176 \cdot 1350}{0{,}0314} = 756 \text{ } \textit{ohm i.c.t.} \text{ (in cifra tonda).}$$

Questa è la resistenza a 20° C.

A 40° C si ha un aumento di temperatura di 20° C e quindi bisogna porre $t = 20$. Il coefficiente di temperatura del rame è (Tabella N. 5) $a = 0{,}00392 - 0{,}00425$.

Ponendo in media $a = 0{,}004$ otteniamo:

$R_t = R\,(1 + a\,t) = 756\,(1 + 0{,}004 \cdot 20) = 756\,(1 + 0{,}08) = 756 \cdot 1{,}08$

R_t = circa *816 ohm.*

L'aumento della temperatura del conduttore da 20° C a 40° C ha quindi provocato un aumento della resistenza da 756 a 816 ohm, ossia di 60 ohm.

L'aumento di resistenza nei conduttori di alluminio è all'incirca il medesimo come nei conduttori di rame, poichè i coefficienti di temperatura sono quasi uguali.

Se i materiali per la fabbricazione di resistenze avessero lo stesso coefficiente di temperatura, come il rame e l'alluminio, si avrebbero delle enormi variazioni di resistenza, poichè nei ferri da stiro, nelle stufette elettriche e nelle piastre delle cucine elettriche si richiedono delle temperature dai 400° ai 600° C.

Esempio 2: Un avvolgimento di rame possiede a 20° C la resistenza di 150 ohm. Qual è la resistenza dell'avvolgimento alla temperatura di 120° C?

Soluzione: La differenza di temperatura è $t = 120° - 20° = 100°$ C. Dalla tabella ricaviamo il coefficiente di temperatura a = circa 0,004. Inserendo tali valori nell'equazione otteniamo:

$R_t = 150\ (1 + 0{,}004 \ .\ 100) = 150\ (1 + 0{,}4)$

$R_t = 150\ .\ 1{,}4 = 210\ ohm.$

L'aumento di resistenza è dunque veramente notevole e non può essere trascurato. È necessario perciò trovare una regola facile da tenere a mente, che permetta di trovare subito la variazione di resistenza del rame in dipendenza dalla variazione della temperatura. Ciò è semplice, poichè basta ricordare che il coefficiente di temperatura a esprime la variazione della resistenza di un conduttore da 1 ohm, per una variazione di temperatura di 1° C. L'aumento della resistenza di un tale conduttore di rame è quindi uguale a 0,004 ohm ossia allo 0,4 %.

Perchè sia ancora più facile da ritenere, ricordiamo che *la variazione di resistenza del rame equivale al 4 % per ogni 10° C di variazione di temperatura.*

Questo 4 % equivale dunque, per una resistenza di 10 ohm, a 0,4 ohm; d'altra parte per una resistenza di 100 ohm ed un aumento di temperatura di 100° C si ha una differenza del 40 % ossia di 40 ohm, e così via.

Esempio 3: Una spirale riscaldante costituita da un filo di Kantal A-1 ha la resistenza di 100 ohm. La spirale si riscalda da 20° a 420° C. Che valore assume allora la resistenza?

Soluzione: Il coefficiente di temperatura del Kantal A-1 è (Tabella N. 5) $a = 0{,}00007$; la differenza di temperatura è $t = 420 - 20 = 400°$ C.

Abbiamo quindi:

$R_t = R\ (1 + a\ .\ t) = 100\ (1 + 0{,}00007\ .\ 400) = 100\ (1 + 0{,}028)$

$R_t = 100\ .\ 1{,}028 = 102{,}8\ ohm.$

Questo aumento equivale solamente al 2,8 % della resistenza iniziale, mentre l'aumento di una resistenza di rame sarebbe stato uguale al 160 %, o meglio, con $a = 0{,}00392$, al 157 %. Supponiamo di allacciare la resistenza di rame da 100 ohm ad una tensione di 100 volt; a freddo, cioè alla temperatura di 20° C, la resistenza assorbe la corrente: $I = \frac{V}{R} = \frac{100}{100} = 1\ ampère$. A caldo, cioè a 420° C, la resistenza assorbe invece soltanto una corrente:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{257} = 0{,}39\ ampère.$$

Con la resistenza di Kantal A-1, invece, l'assorbimento di corrente diminuisce solo di poco. A 420° C si ha infatti una corrente:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{100}{102{,}8} = 0{,}97\ ampère.$$

Anche in questo Capitolo avrete notato come, a passo a passo, ci inoltriamo nella pratica e quanto ci sia utile in questa occasione tutto quello che abbiamo imparato in precedenza, particolarmente la matematica. Ciò vi consentirà senza dubbio una migliore comprensione del funzionamento di molti apparecchi elettrici, dei quali dovrete quotidianamente occuparvi. Servitevi quindi delle vostre recenti conoscenze per osservare, o addirittura controllare col calcolo, numerosi fenomeni e dati che finora vi fossero sfuggiti.

Risposte alle domande di pag. 21

1. Il generatore magnetoelettrico produce corrente alternata.
2. La corrente indotta fluisce in direzione dell'osservatore, quindi dal fondo in avanti; essa entra nella lampadina per il morsetto sinistro e ne esce dal morsetto destro.
3. La corrente viene prelevata dal generatore magnetoelettrico mediante spazzole striscianti su 2 anelli. Gli anelli sono fissati sull'asse del rotore, isolati tra loro e connessi con l'inizio e la fine dell'avvolgimento.
4. Per aumentare la tensione alle spazzole, bisogna far ruotare più rapidamente il rotore, oppure dotare quest'ultimo di un numero maggiore di spire, oppure aumentare l'intensità del campo magnetico.

COMPITI

1. Qual è, in una valvola termoionica, l'elettrodo che emette gli elettroni?

2. Qual è la funzione della griglia in una valvola termoionica.

3. Quali sono le condizioni per cui, in una valvola, si forma un flusso di elettroni dal catodo verso l'anodo?

4. Disegnate un estratto dello schema della fig. 21, in modo da rappresentare il solo circuito telefonico.

5. Suddividete lo schema della fig. 29 in due parti separate contemplanti:

   a) il circuito di chiamata;

   b) il circuito telefonico.

6. In quale caso si preferisce usare in telefonia la cosiddetta « *chiamata a induttore* »?

7. Per quale ràgione l'induttore a manovella è dotato di un ingranaggio?

8. Perchè il rotore dell'induttore a manovella non è fatto di alluminio?

9. Considerate una linea di rame da 4 mm^2 lunga 228 m.

   a) qual è la resistenza di questa linea?

   b) quale sarebbe la resistenza della medesima linea, se fosse fatta d'alluminio (per il rame ϱ = 0,0176; per l'alluminio ϱ = 0,03).

10. Una resistenza a spirale, della sezione di 1 mm^2 e della lunghezza di 150 m, assomma a 75 ohm. Di che materiale è costituita?

11. L'avvolgimento di un relè, in filo di rame, possiede la resistenza di 600 ohm. La sezione = 0,0785 mm^2. Da quanti metri di filo è costituito l'avvolgimento?

12. L'avvolgimento di rame di un relè possiede una resistenza di 60 ohm a 20° C. Qual è la resistenza a 50° C e a —20° C.

    Ponete a = 0,004.

13. L'avvolgimento di un elettromagnete presenta a 20° C una resistenza di 79,81 ohm. L'avvolgimento è di alluminio. Dopo un certo tempo di esercizio si nota un discreto riscaldamento. Una seconda misura fornisce il valore della resistenza di 90,4 ohm. Che temperatura aveva raggiunto l'avvolgimento? (α = = 0,004).

14. *a)* $\sqrt[3]{60} = ?$ *b)* $\sqrt[3]{225} = ?$ *c)* $\sqrt[3]{1000} = ?$ *d)* $\sqrt[3]{2800} = ?$

15. Trovare l'incognita x nelle seguenti proporzioni:

    a) $x : 12 = 6 : 9$ *b)* $a : x = b : c$ *c)* $3x : 2n = 15 : 1$

Tabella N. 6 — Radici cubiche ($\sqrt[3]{\ }$)

Numero	$\sqrt[3]{Numero}$	Numero	$\sqrt[3]{Numero}$	Numero	$\sqrt[3]{Numero}$	Numero	$\sqrt[3]{Numero}$	Numero	$\sqrt[3]{Numero}$	Numero	$\sqrt[3]{Numero}$
1	1,000										
1,1	1,032	5,6	1,776	11	2,224	56	3,826	110	4,791	560	8,243
1,2	1,063	5,7	1,786	12	2,290	57	3,849	120	4,932	570	8,291
1,3	1,091	5,8	1,797	13	2,351	58	3,871	130	5,066	580	8,340
1,4	1,119	5,9	1,807	14	2,410	59	3,893	140	5,193	590	8,387
1,5	1,145	6,0	1,817	15	2,466	60	3,915	150	5,313	600	8,434
1,6	1,170	6,1	1,827	16	2,520	61	3,937	160	5,429	610	8,481
1,7	1,194	6,2	1,837	17	2,571	62	3,958	170	5,540	620	8,527
1,8	1,216	6,3	1,847	18	2,621	63	3,979	180	5,646	630	8,573
1,9	1,239	6,4	1,857	19	2,668	64	4,000	190	5,749	640	8,618
2,0	1,260	6,5	1,866	20	2,714	65	4,021	200	5,848	650	8,662
2,1	1,281	6,6	1,876	21	2,759	66	4,041	210	5,944	660	8,707
2,2	1,301	6,7	1,885	22	2,802	67	4,062	220	6,037	670	8,750
2,3	1,320	6,8	1,895	23	2,844	68	4,082	230	6,127	680	8,794
2,4	1,339	6,9	1,904	24	2,885	69	4,102	240	6,215	690	8,837
2,5	1,357	7,0	1,913	25	2,924	70	4,121	250	6,300	700	8,879
2,6	1,375	7,1	1,922	26	2,963	71	4,141	260	6,383	710	8,921
2,7	1,393	7,2	1,931	27	3,000	72	4,160	270	6,463	720	8,963
2,8	1,410	7,3	1,940	28	3,037	73	4,179	280	6,542	730	9,004
2,9	1,426	7,4	1,949	29	3,072	74	4,198	290	6,619	740	9,045
3,0	1,442	7,5	1,957	30	3,107	75	4,217	300	6,694	750	9,086
3,1	1,458	7,6	1,966	31	3,141	76	4,236	310	6,768	760	9,126
3,2	1,474	7,7	1,975	32	3,175	77	4,254	320	6,840	770	9,166
3,3	1,489	7,8	1,983	33	3,208	78	4,273	330	6,910	780	9,205
3,4	1,504	7,9	1,992	34	3,240	79	4,291	340	6,980	790	9,244
3,5	1,518	8,0	2,000	35	3,271	80	4,309	350	7,047	800	9,283
3,6	1,533	8,1	2,008	36	3,302	81	4,327	360	7,114	810	9,322
3,7	1,547	8,2	2,017	37	3,332	82	4,345	370	7,179	820	9,360
3,8	1,561	8,3	2,025	38	3,362	83	4,362	380	7,243	830	9,398
3,9	1,574	8,4	2,033	39	3,391	84	4,380	390	7,306	840	9,435
4,0	1,587	8,5	2,041	40	3,420	85	4,397	400	7,368	850	9,473
4,1	1,601	8,6	2,049	41	3,448	86	4,414	410	7,429	860	9,510
4,2	1,613	8,7	2,057	42	3,476	87	4,431	420	7,489	870	9,546
4,3	1,626	8,8	2,065	43	3,503	88	4,448	430	7,548	880	9,583
4,4	1,639	8,9	2,072	44	3,530	89	4,465	440	7,606	890	9,619
4,5	1,651	9,0	2,080	45	3,557	90	4,481	450	7,663	900	9,655
4,6	1,663	9,1	2,088	46	3,583	91	4,498	460	7,719	910	9,691
4,7	1,675	9,2	2,095	47	3,609	92	4,514	470	7,775	920	9,726
4,8	1,687	9,3	2,103	48	3,634	93	4,531	480	7,830	930	9,761
4,9	1,699	9,4	2,111	49	3,659	94	4,547	490	7,884	940	9,796
5,0	1,710	9,5	2,118	50	3,684	95	4,563	500	7,937	950	9,831
5,1	1,721	9,6	2,125	51	3,708	96	4,579	510	7,990	960	9,865
5,2	1,733	9,7	2,133	52	3,733	97	4,595	520	8,042	970	9,899
5,3	1,744	9,8	2,140	53	3,756	98	4,610	530	8,093	980	9,933
5,4	1,754	9,9	2,147	54	3,780	99	4,626	540	8,143	990	9,967
5,5	1,765	10,0	2,154	55	3,803	100	4,642	550	8,193	1000	10,000

FORMULE CONTENUTE NELLA DISPENSA N. 9

Formula

(24) Resistenza di un conduttore:

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{q}$$ . . . . Pag 23

(24-*a*) Sezione del conduttore:

$$q = \frac{\varrho \cdot l}{R}$$ . . . . „ 23

(24-*b*) Lunghezza del conduttore:

$$l = \frac{R \cdot q}{\varrho}$$ . . . . „ 23

(24-*c*) Resistività:

$$\varrho = \frac{R \cdot q}{l}$$ . . . . „ 23

(25) Resistenza di un conduttore:

$$R = \frac{l}{\varkappa \cdot q}$$ . . . . „ 24

(25-*a*) Sezione del conduttore:

$$q = \frac{l}{\varkappa \cdot R}$$ . . . . „ 24

(25-*b*) Lunghezza del conduttore:

$$l = R \cdot \varkappa \cdot q$$ . . . . „ 24

(25-*c*) Conduttività:

$$\varkappa = \frac{l}{q \cdot R}$$ . . . . „ 24

(26) Resistenza alla temperatura t:

$$R_t = R\,(1 + a\,t)$$ . . . . „ 25

(26-*a*) Resistenza alla temperatura t_2:

$$R_t = R\,[1 + a\,(t_2 - t_1)]$$ . . . . . . „ 25

TABELLE CONTENUTE NELLA DISPENSA N. 9

(4) Resistività e conduttività di vari materiali a 20° C . . . . Pag. 22

(5) Coefficiente di temperatura . . . . „ 24

(6) Radici cubiche . . . . „ 28

DISPENSA N°. 10

CORSO DI TECNICA DELLE

TELECOMUNICAZIONI

IN PARTICOLARE DI RADIOTECNICA

ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA

INDICE DELLE MATERIE DELLA DISPENSA N. 10

Riassunto della materia trattata nella Dispensa precedente Pag. 1

Radiotecnica . . . . „ 1

Il tubo elettronico (continuazione) . . . . „ 1

La caratteristica . . . . „ 2

Domande . . . . „ 4

Telefonia . . . . „ 4

L'induttore a manovella (continuazione) . . . . „ 4

Come è costruito l'induttore a manovella . . . . . . „ 4

Impianti telefonici con chiamata a induttore . . . . . „ 5

Matematica . . . . „ 7

Calcolo con le potenze . . . . „ 7

Addizione e sottrazione di potenze . . . . „ 7

Moltiplicazione e divisione di potenze . . . . „ 7

Le potenze formate con numeri negativi . . . . „ 8

Calcolo con le potenze decadiche . . . . „ 9

Basta con la lotta per la posizione della virgola! . . . . „ 10

Elettrotecnica generale . . . . „ 12

Reattanze pure . . . . „ 12

La reattanza induttiva . . . . „ 12

La reattanza capacitiva . . . . „ 13

La differenza di fase . . . . „ 13

Domande . . . . „ 15

Radiotecnica . . . . „ 16

Le grandezze caratteristiche di una valvola termoionica . . . „ 16

L'infraeffetto . . . . „ 16

Il fattore d'amplificazione . . . . „ 18

La pendenza . . . . „ 19

La resistenza interna . . . . „ 20

L'equazione di Barkhausen . . . . „ 21

Domande . . . . „ 22

Matematica . . . . „ 22

Il sistema di misura decadico . . . . „ 22

Prefissi esprimenti multipli e sottomultipli decimali delle unità . . . . „ 23

Compiti . . . . „ 24

C O R S O D I T E C N I C A D E L L E
TELECOMUNICAZIONI - RADIO

A CURA DELL'ISTITUTO SVIZZERO DI TECNICA | Dispensa N. 10

RIASSUNTO DELLA MATERIA TRATTATA NELLA DISPENSA PRECEDENTE

Il primo Capitolo della Dispensa N. 9 vi ha introdotti in una parte nuova e importantissima, trattando dei fenomeni fondamentali che hanno luogo nei tubi elettronici. Avete appreso che gli elettroni escono dal filamento incandescente, che costituisce il catodo, formando attorno ad esso una *nuvola* di elettroni. Applicando una tensione positiva al secondo elettrodo del tubo, l'anodo, questo acquista la proprietà di attrarre gli elettroni che precipitano pertanto su di esso, attraversando il vuoto che si trova nell'interno del tubo. Mediante un ingegnoso artificio, e cioè introducendo tra il catodo e l'anodo un terzo elettrodo, la griglia, si ha la possibilità di comandare il movimento degli elettroni nell'interno del tubo. Infatti se la spirale costituente la griglia viene caricata di elettricità negativa, essa frena gli elettroni a diminuisce quindi la corrente anodica. Se invece la griglia è caricata positivamente, la corrente anodica viene rinforzata. Basta questa semplice regolazione della tensione di griglia per comandare o *pilotare* la corrente anodica. Questi sono dunque i fondamenti, che occorre aver compreso completamente, per poter interpretare con esattezza le numerose applicazioni dei tubi elettronici.

Nel Capitolo successivo avete conosciuto i collegamenti telefonici ad inserzione diretta e indiretta. Come dice il nome, gl'impianti ad inserzione diretta sono caratterizzati dal fatto che tra i microfoni ed i ricevitori delle due stazioni esiste un collegamento diretto. La corrente erogata dalla batteria, la cui intensità oscilla nel ritmo delle onde sonore raccolte dal microfono, si propaga lungo la linea, raggiungendo la stazione comunicante e imprimendo le medesime oscillazioni alla membrana del suo ricevitore. L'inserzione diretta richiede però una linea di collegamento a tre fili. L'inserzione indiretta si distingue invece per il fatto che ciascuna stazione è dotata di un piccolo trasformatore, la cosiddetta « *bobina d'induzione* ». In questo caso per il collegamento occorrono due soli fili; essi trasportano soltanto corrente alternata, emessa dal secondario della bobina d'induzione.

Un altro Capitolo sulla « Telefonia » s'iniziava con la spiegazione della generazione magnetoelettrica di tensione. Scopo della trattazione è stato quello di dimostrare il funzionamento dell'induttore a manovella. Avete appreso così che, in ogni conduttore mosso in un campo magnetico, viene indotta una tensione, tanto più elevata quanto maggiore è il numero delle linee di forza, tagliate dal conduttore nell'unità di tempo. Vi è stato dimostrato inoltre che un conduttore rotante in un campo magnetico genera sempre corrente alternata.

Nel Capitolo sull'« Elettrotecnica generale » avete imparato a calcolare le resistenze. Particolarmente importante è la formula $R = \frac{\varrho \cdot l}{q}$, la quale significa che la resistenza di un conduttore è tanto più grande, quanto maggiore è la resistività del materiale che lo compone, quanto più esigua è la sua sezione e quanto più lungo è il conduttore. Va tenuto poi presente che la resistenza varia anche con la temperatura; una formula particolare consente di calcolare tale variazione.

Oltre a queste cognizioni tecniche del ramo, avete potuto istruirvi ulteriormente in matematica, essendo state trattate le radici superiori e le proporzioni.

RADIOTECNICA

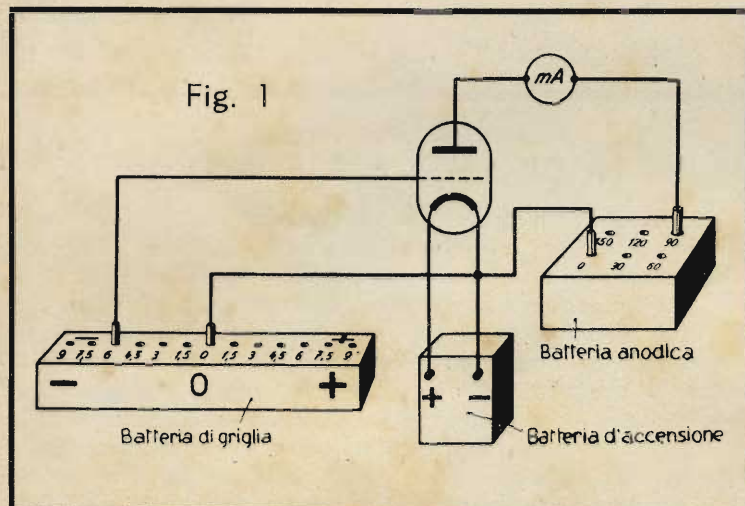
Il tubo elettronico (Continuazione dalla Dispensa N. 9).

Conoscete già molto bene i principi di funzionamento dei tubi elettronici e sapete che, regolando la tensione della batteria di griglia, si può influire sull'intensità della corrente elettronica diretta dal catodo all'anodo. Riassumiamo brevemente ciò che vi è stato insegnato in merito.

Gli elettroni escono dal catodo incandescente, formando attorno ad esso la cosiddetta « *nuvola* » di elettroni. Applicando al secondo elettrodo, all'anodo, una tensione positiva rispetto al catodo, gli elettroni si spostano nell'interno del tubo dal catodo all'anodo. Questo spostamento viene comandato da un terzo elettrodo, la griglia. Quando questa è sottoposta ad una tensione positiva, la corrente anodica aumenta, quando la griglia è messa invece ad una tensione negativa, essa diminuisce.

La corrente anodica dipende pertanto, in misura rilevante, dalla tensione della griglia. Abbiamo già visto però

che essa dipende anche dalla tensione dell'anodo stesso. Vi mostreremo ora in quale misura si manifesti questa dipendenza della corrente anodica dalle tensioni di griglia e di placca.

Il dispositivo sperimentale occorrente, per determinare questa dipendenza, è rappresentato nella fig. 1. In tale figura si riconoscono la batteria d'accensione, quella anodica e quella di griglia. Nel conduttore, che dall'anodo della valvola porta alla batteria anodica, è inserito un milliamperometro per misurare la corrente anodica. Vogliamo ora applicare una determinata tensione anodica alla valvola e inseriamo quindi la spina collegata col milliamperometro nella boccola dei 90 volt, della batteria anodica.

La tensione di placca equivale pertanto a + 90 V. Nell'esperimento che seguirà ora, questo valore non viene variato: diciamo quindi di aver applicato una « *tensione anodica costante* V_a *= + 90 volt* ».

Spostando la spina del collegamento di griglia, si possono scegliere ora successivamente le tensioni di griglia, tanto negative che positive, di 1,5 volt, 3 volt, 4,5 volt, 6 volt, ecc. La batteria d'accensione, a sua volta, possiede una tensione corrispondente alle prescrizioni per il tipo considerato di valvola, e cioè sufficiente per ottenere la giusta temperatura d'incandescenza del filamento. Lasciamo collegata questa batteria sempre nel medesimo modo e osserviamo l'indicazione del milliamperometro. Vi attendete, ed a ragione, che, quando la spina della batteria di griglia è innestata in un valore elevato negativo, il valore indicato dal milliamperometro sia piccolo e che aumenti man mano che la spina viene spostata verso prese giacenti a tensione negativa minore, e quindi più vicine al punto di zero.

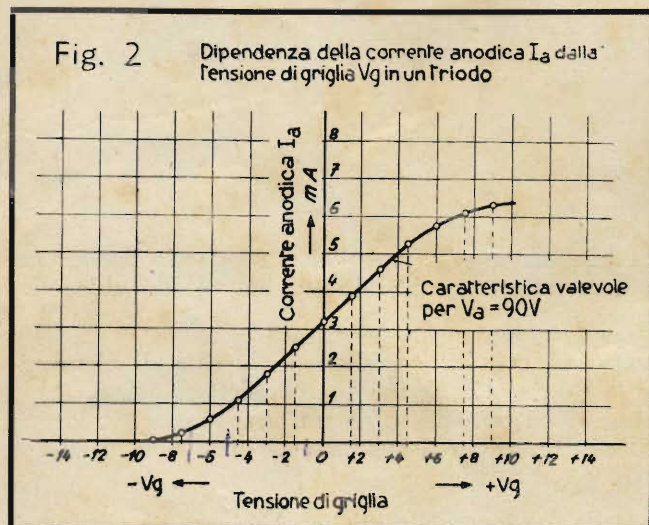
La caratteristica.

Riportiamo le nostre osservazioni in un diagramma. Questo sistema di notazione è particolarmente pratico, essendo facile da comprendere e da ricordare e permettendo di ricavarne varie considerazioni. Cominciamo quindi col tracciare gli assi delle coordinate; sull'asse verticale, o delle Y, riporteremo il valore della corrente anodica misurata, sull'asse orizzontale, o delle X, il valore della tensione applicata alla griglia. Poichè vogliamo usare tensioni di griglia, sia positive che negative, dobbiamo prolungare l'asse delle X verso sinistra, nel campo negativo, come risulta dalla fig. 2. Per ottenere un diagramma corretto, segniamo subito la numerazione sugli assi. La corrente anodica viene indicata con l'abbreviazione I_a, la tensione di griglia con V_g.

Iniziando l'esperimento, infiliamo la spina di griglia nella boccola « 0 » della batteria. In tal modo la griglia non è nè positiva nè negativa, ma è collegata direttamente con il catodo. Il milliamperometro segna il valore di 3,2 mA, che riportiamo nel diagramma: V_g = zero; I_a = 3,2 mA. Il primo punto misurato giace quindi sull'asse delle Y, all'altezza di 3,2 mA. Per il secondo punto spostiamo il collegamento di griglia su + 1,5 volt. Il milliamperometro segna, come noi aspettavamo, una corrente anodica superiore, e precisamente 3,9 mA. Riportiamo sul nostro diagramma anche questo punto. Passiamo poi alla boccola + 3 volt, della batteria di griglia, e notiamo l'indicazione di 4,6 mA del milliamperometro. Seguono i punti per + 4,5; + 6; + 7,5 e + 9 volt di tensione di griglia, che vengono tutti riportati immediatamente nella rappresentazione grafica.

Seguiamo ora la direzione opposta e applichiamo alla griglia *tensioni negative*. Vi aspettate indubbiamente che la corrente anodica diminuisca. Effettivamente, con V_g = — 1,5 V il milliamperometro segna soltanto 2,5 mA. Abbiamo fissato così un altro punto della curva, che viene a trovarsi nel lato negativo dell'asse delle X, in corrispondenza a — 1,5 V. In maniera identica a quella prima usata con le tensioni di griglia positive, procediamo ora alla misura della corrente anodica con tensioni di griglia negative. Completiamo in tal modo il diagramma, ottenendo la curva della fig. 2.

Abbiamo dunque rappresentata graficamente la dipendenza della corrente anodica dalla tensione di griglia.

Questo diagramma si chiama « *caratteristica* » della valvola considerata. Essa vale, nell'esempio presente, per una tensione anodica V_a = 90 volt. Trattandosi della dipendenza della corrente anodica I_a dalla tensione di griglia V_g, si dice con maggior precisione: « *caratteristica corrente anodica — tensione di griglia* ».

Osserviamo un po' attentamente la caratteristica ora rilevata. Noterete dapprima che la corrente anodica aumenta con notevole regolarità, quando la tensione di griglia va aumentando nel senso positivo. A un certo punto, però, la caratteristica s'incurva e infine la corrente anodica non aumenta quasi più. È questo il punto in cui il catodo « non ce la fa più »; esso non riesce ad emettere una quantità maggiore di elettroni e per questa ragione la corrente anodica non può aumentare: si dice che essa ha raggiunto la « *saturazione* ».

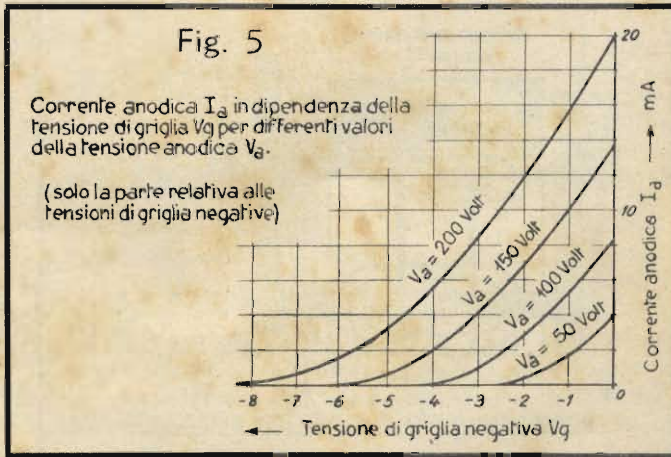
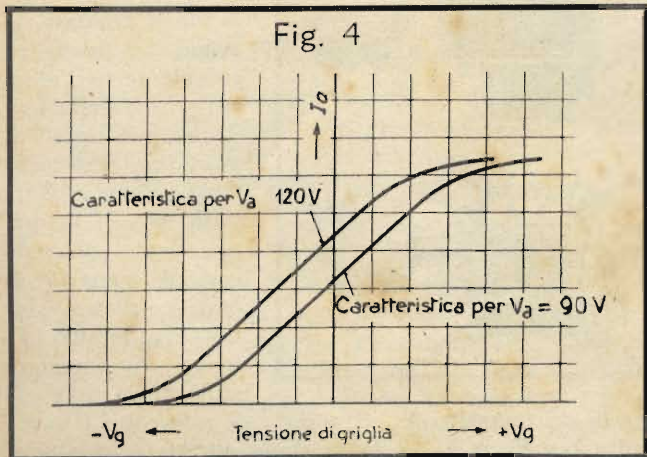
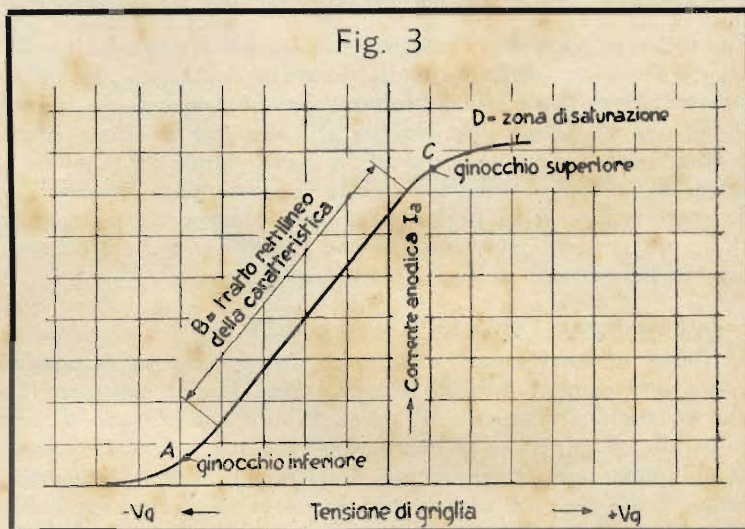
Dalla parte opposta della caratteristica, per forti tensioni *negative* di griglia, si osserva un andamento analogo. La carica negativa della griglia, è, infatti, talmente efficace, che solo una quantità minima di elettroni riesce a raggiungere la placca. Infine, a un certo punto, la tensione negativa di griglia blocca completamente il passaggio degli elettroni; questo valore si chiama « *tensione di interdizione* ».

Tutte le caratteristiche delle valvole di questo tipo seguono qualitativamente il medesimo andamento. Diminuendo la tensione negativa di griglia, esse salgono dapprima sempre più ripidamente nel tratto inferiore *A*, detto « *ginocchio inferiore* » (fig. 3). Segue poi il *tratto rettilineo B*, al quale succede un altro tratto incurvato *C*, il « *ginocchio superiore* ». Nel *campo di saturazione D* la caratteristica presenta nuovamente un andamento rettilineo, che qui è pressochè parallelo all'asse delle X. Ciò significa che la tensione anodica e la tensione positiva di griglia, che l'asseconda, sono abbastanza elevate da assorbire costantemente tutti gli elettroni che si liberano dal catodo.

All'inizio del nostro esperimento abbiamo detto che la tensione anodica avrebbe dovuto rimanere *costante*, e precisamente uguale a 90 volt. Ora, com'è noto, la corrente anodica non dipende soltanto dalla tensione di griglia, ma anche dalla tensione di placca (o tensione anodica). Se aumentiamo quest'ultima, portandola per esempio a 120 volt, aumenterà anche, come già sapete, la corrente anodica. Con la stessa tensione di griglia, p. es., di — 3 volt avremo allora una corrente anodica di 3 mA, contro 1,8 mA per una tensione di placca di 90 volt. Se volessimo rifare tutta la serie di misure, variando la tensione di griglia e mantenendo la tensione di placca di 120 volt, otterremmo l'identica curva di prima, con la differenza che questa è spostata verso sinistra (fig. 4). Per ogni altra tensione anodica si ottiene la medesima curva, che nel diagramma va spostandosi sempre più verso sinistra con l'aumentare della tensione anodica. Si ottiene così un'intiera *famiglia di caratteristiche*, com'è rappresentato nella fig. 5. Accanto a ciascuna curva si scrive il valore della relativa tensione di placca. Da una rappresentazione grafica di questo genere si possono desumere quasi tutti i dati, che occorre conoscere, per l'impiego di una valvola.

Naturalmente queste caratteristiche devono sempre essere determinate sperimentalmente. I fabbricanti di valvole pubblicano queste misure in fogli, che vengono poi riuniti assieme per i differenti tipi di valvole, formando un catalogo. Come vedrete, della *caratteristica corrente anodica — tensione di griglia* (detta anche « *caratteristica* I_a — V_g ») interessa quasi sempre solo la parte *a sinistra dell'asse delle Y*, cioè il campo delle *tensioni di griglia negative*. Nei cataloghi è quindi generalmente riportata solo questa parte, come nella fig. 5.

Al termine di questo Capitolo vogliamo osservare che la tensione applicata alla griglia, e più precisamente la tensione *continua*, viene chiamata generalmente « *polarizzazione* » di griglia.

Ciò per evitare confusioni con le tensioni alternate, che vengono pure applicate alla griglia. Ma di questo, come pure del modo di ricavare dai diagrammi i dati caratteristici, tratteremo in un Capitolo successivo.

Domande

1. Qual è la dipendenza che viene illustrata dalla caratteristica I_a — V_g?
2. Qual è la condizione necessaria per ricavare una corretta caratteristica I_a — V_g?
3. Come si chiamano i tratti inferiore e superiore della caratteristica I_a — V_g?

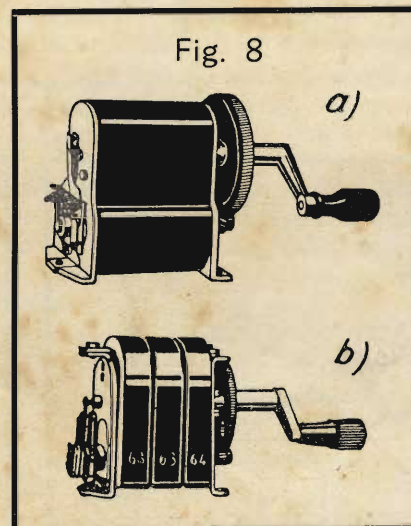
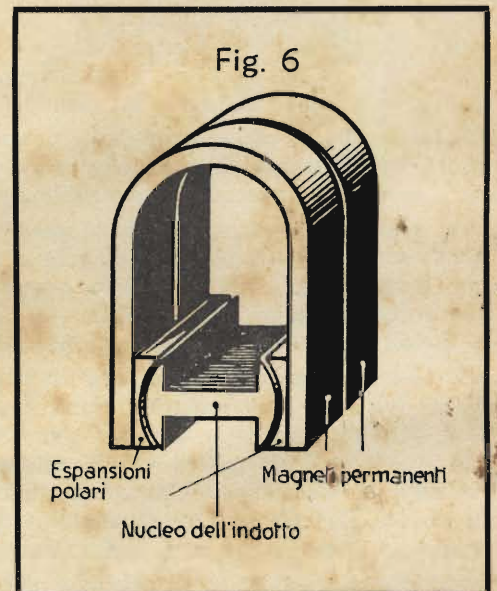
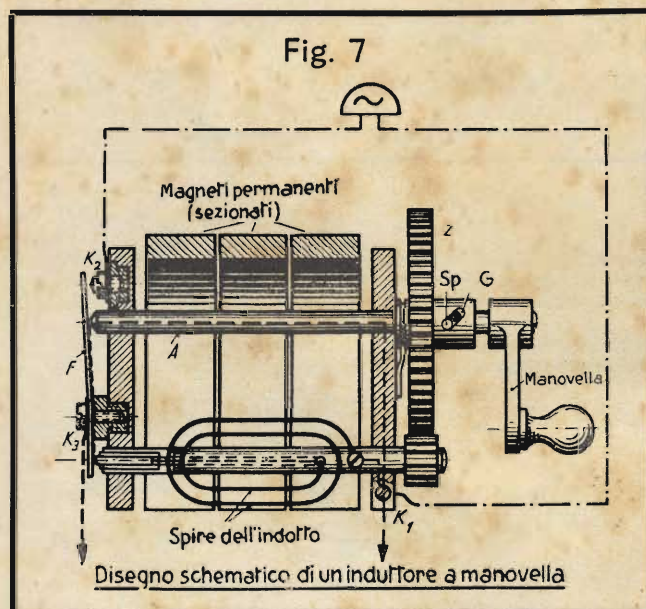
TELEFONIA

L'Induttore a manovella (Continuazione dalla Dispensa N. 9).

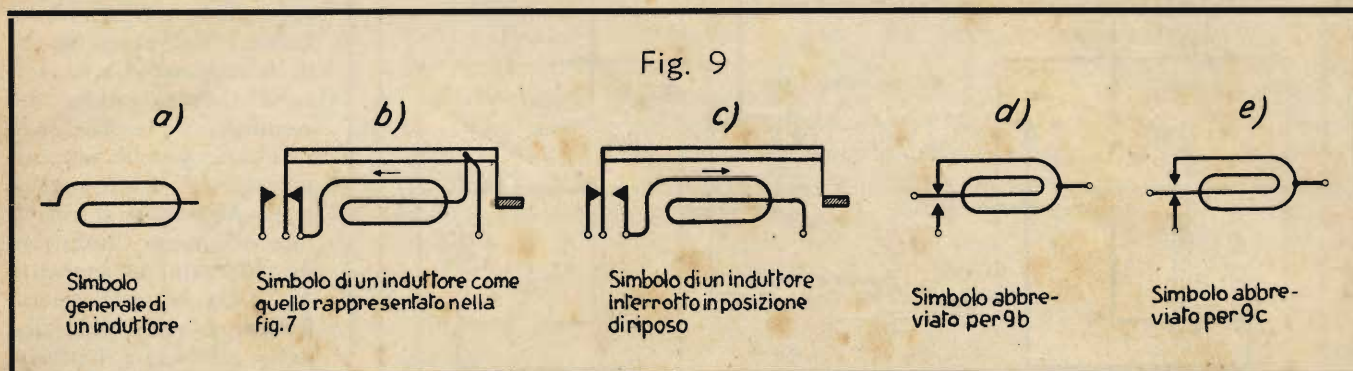
Finora avete conosciuto soltanto dei semplici impianti telefonici, nei quali la chiamata viene effettuata mediante corrente prelevata dalla batteria della stazione chiamante. Ora è ovvio che la distanza tra i due utenti rimane in tal modo assai limitata, poichè, secondo la legge di Ohm, si manifesta nella linea una caduta di tensione, per cui la tensione residua alla stazione chiamata è solo una frazione di quella della batteria. Quando la lunghezza della linea supera un certo valore, la tensione residua non è più sufficiente per azionare la suoneria. Si potrebbe ovviare a questo inconveniente aumentando la tensione della batteria, ma questa soluzione è da scartare per varie ragioni, per esempio, perchè l'ingombro della batteria diverrebbe eccessivo. Una soluzione più pratica è stata trovata con l'adozione del cosiddetto « *induttore a manovella* », del quale abbiamo già esposto il principio nella Dispensa precedente.

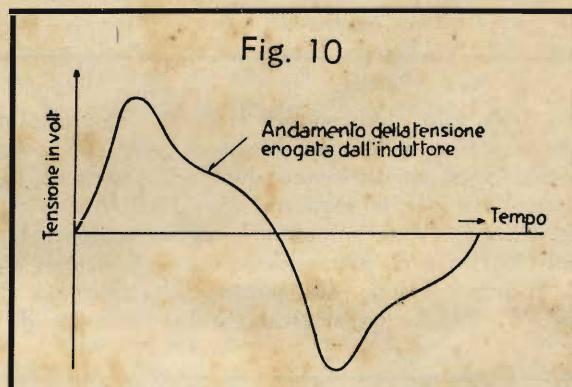
Com'è costruito l'induttore a manovella.

La fig. 6 mostra le parti principali del generatore di corrente alternata, noto come *induttore a manovella.* Tra le espansioni polari di *due magneti* permanenti si trova l'*indotto a doppio T*, nel quale, ruotando, si genera una corrente alternata, utilizzata come corrente di chiamata per l'azionamento della suoneria della stazione comunicante. Nella fig. 7 è rappresentato schematicamente un induttore dotato di tre magneti parziali. Come sapete, la tensione indotta è tanto più elevata, quanto più rapidamente viene fatto ruotare l'indotto. La *coppia d'ingranaggi Z* serve appunto ad aumentarne la velocità di rotazione. Osservate i collegamenti dell'avvolgimento d'indotto: un capo è collegato direttamente all'albero del rotore; l'altro capo attraversa l'albero stesso, dal quale è isolato, e termina ad uno *spinotto di contatto* situato dal lato opposto agli ingranaggi. Questo spinotto sostituisce uno degli anelli per il prelevamento della corrente, che avete conosciuto nella fig. 46 della Dispensa N. 9; anch'esso deve naturalmente essere isolato elettricamente dall'albero, nel quale si trova forzato. Anche il secondo anello è superflo, in quanto la corrente indotta viene fatta passare attraverso l'albero e il cuscinetto del rotore e prelevata dal *morsetto* K_1.

Come vi spiegheremo subito, quando un induttore a manovella è utilizzato in un impianto telefonico, è necessario che, nello stato di riposo, la resistenza dell'avvolgimento d'indotto sia corto-circuitata. A questo scopo la lamina di contatto F è prolungata, in modo da poggiare sull'estremità dell'albero della manovella, collegato mediante il supporto metallico col morsetto K_1.

Quando la manovella viene azionata, la spina S_p, fissata rigidamente nell'albero, scorre nella fenditura obliqua di guida G, spostando verso destra tutto l'albero con la manovella ed aprendo così il contatto di corto circuito. Infatti la lamina F, invece di poggiare sull'albero A, fa contatto col morsetto K_2. Rimane così interrotto il corto circuito tra K_1 e K_3, e la tensione alternata indotta si

trova presente tra i morsetti K_1 e K_2, dai quali viene condotta alla suoneria della stazione comunicante. Quando, al termine della chiamata, la manovella viene abbandonata, interviene un'apposita molla a riportare l'al-

bero A nuovamente verso sinistra, fino a toccare e sollevare la lamina F. Nella fig. 7 il circuito che si stabilisce nella posizione di riposo, quando l'induttore non viene azionato è disegnato a trattini, mentre il circuito segnato a punti e tratti è quello che si forma, quando si gira la manovella.

La fig. 8 mostra due realizzazioni pratiche dell'induttore a manovella. Si distinguono chiaramente la coppia d'ingranaggi e la disposizione dei contatti ora descritta. La fig. 8-*a* mostra un tipo più recente, mentre nella fig. 8-*b* si vedono ancora le tre calamite distinte. Per determinati scopi, è possibile anche una disposizione dei contatti che, contrariamente a quella ora descritta, distacca l'avvolgimento d'indotto nello stato di riposo ed effettua il contatto solo durante l'azionamento della manovella.

La fig. 9-a rappresenta il *simbolo di un induttore*, dal quale però nulla si può arguire sulla disposizione dei contatti a molla. Nella fig. 9-b, invece, tale disposizione risulta chiaramente. Si tratta infatti di un *induttore corto-circuitato* nello stato di riposo. Analogamente, la fig. 9-c rappresenta un *induttore interrotto* nello stato di riposo. In rappresentazione semplificata si usa anche il simbolo 9-d in luogo di 9-b, e 9-e in luogo di 9-c.

Vi è già noto che, nel funzionamento dei generatori di corrente alternata, si richiede abitualmente che la curva della tensione presenti la medesima forma della curva rappresentata nella fig. 42 della Dispensa N. 9, chiamata « *sinusoide* ». Per le macchine grosse questo si ottiene dando una speciale configurazione alle espansioni polari e distribuendo così, in un modo particolare, le linee di forza magnetiche.

La curva dell'induttore è però tutt'altro che sinusoidale e presenta invece l'andamento disegnato nella fig. 10.

Le punte della tensione costituiscono effettivamente la parte più efficace della curva.

La manovella dell'induttore compie in media tre giri al secondo. Con il rapporto usuale degl'ingranaggi di 1 : 5 si ottengono 15 rotazioni dell'indotto al secondo. Poichè ogni rotazione corrisponde, in una macchina a due poli, ad un periodo, la corrente alternata generata dall'induttore a manovella possiede una frequenza di circa 15 periodi al secondo.

Impianti telefonici con chiamata ad induttore.

Vi interesserà certamente sapere in che modo avvenga una comunicazione telefonica tra due stazioni munite di chiamata. Seguite dapprima in fig. 11 il circuito di chiamata. Entrambi gli utenti hanno il ricevitore appeso; supponiamo che l'utente A voglia chiamare B. Egli aziona la manovella dell'induttore, aprendo in tal modo il collegamento tra il punto 1 ed il punto 3 nell'induttore della stazione A e portandolo sul contatto 2.

La corrente alternata dell'induttore ha quindi a sua disposizione la seguente via: dal morsetto 2 dell'induttore della stazione A al contatto 1 ed al morsetto L_b della medesima stazione; indi attraverso la linea al morsetto L_b della stazione B. La corrente di chiamata passa quindi attraverso al morsetto 1 dell'induttore B ed al contatto di riposo 3, raggiungendo il commutatore a gancio, il cui contatto superiore di riposo è collegato con la suoneria a corrente alternata della stazione B. Infine, dall'altro capo della suoneria, la corrente arriva al morsetto L_a della stazione B e, per la linea di ritorno, al morsetto L_a della stazione A ed all'induttore A. La suoneria della stazione B suonerà per tutto il tempo in cui viene azionata la manovella della stazione A e finchè non viene distaccato il ricevitore della stazione B. Non ha invece importanza, per la chiamata, se il ricevitore della stazione A sia appeso o no.

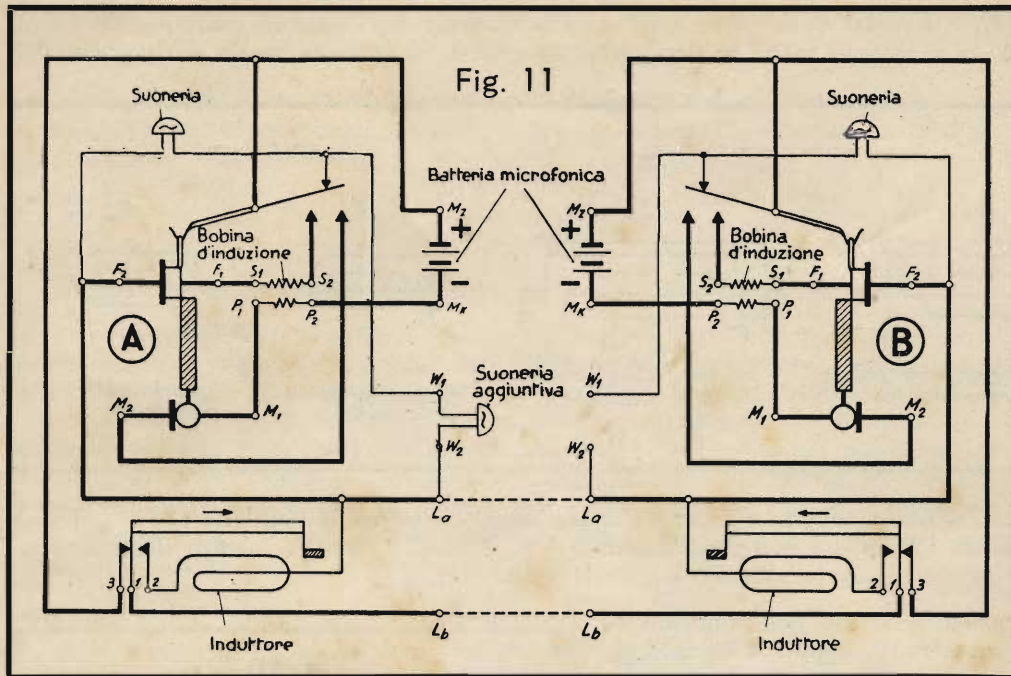
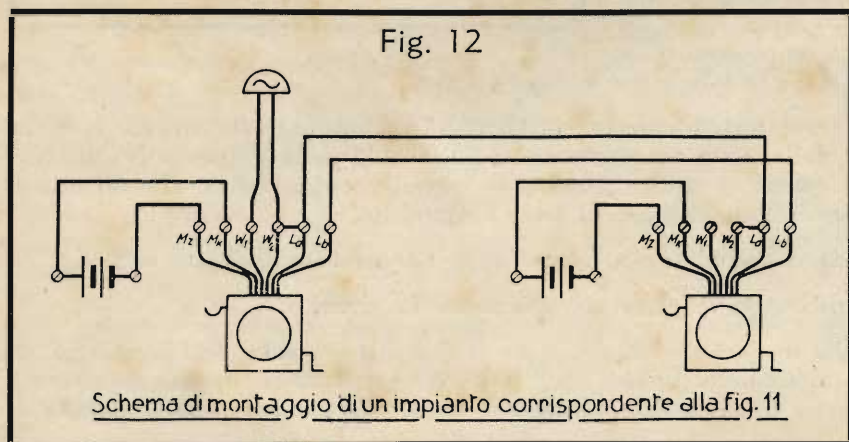
Fig. 11

Nel momento in cui si distacca il ricevitore della stazione *B*, si chiude il seguente circuito microfonico: dal morsetto M_2 della stazione *A*, attraverso il contatto esterno del commutatore a gancio, ora chiuso perchè naturalmente nel frattempo è stato distaccato il ricevitore e fermato l'induttore di chiamata, al morsetto M_z della batteria microfonica. L'altro polo M_k, della medesima batteria, conduce all'avvolgimento primario della bobina di induzione e quindi al morsetto M_1 del microfono. La corrente, che passa in questo circuito, è dunque una corrente continua soggetta ad oscillazioni d'intensità nel ritmo delle vibrazioni sonore ricevute dal microfono. Queste oscillazioni, che riproducono elettricamente i suoni, vengono trasportate per effetto d'induzione, com'è noto, al lato secondario S_1-S_2, del traslatore. Questi due attacchi S_1-S_2 costituiscono dunque la sorgente della corrente fonica (che è una pura corrente alternata), la quale si propaga per la seguente via: Dall'attacco S_1 alla capsula telefonica (si ascolta quindi anche la propria conversazione) ed al morsetto L_a della stazione *A*. Quindi, attraverso la linea, alla stazione *B* ed all'attacco F_2 del ricevitore *B*, attraverso questo all'attacco F_1 ed all'estremità S_1 del secondario della bobina d'induzione. Il ritorno avviene dal punto S_2, attraverso il gancio di commutazione sollevato, al morsetto 3 dell'induttore *B*. Poichè quest'ultimo è in posizione di riposo, è attuato il collegamento col morsetto 1 e quindi la corrente fonica procede al morsetto L_b e attraverso la linea fa ritorno al morsetto L_b della stazione *A*. Poichè ora è in posizione di riposo anche l'induttore *A*, il circuito può chiudersi attraverso i contatti 1, 3 e il contatto interno del gancio, raggiungendo il morsetto S_2 della bobina d'induzione.

Fig. 12

Schema di montaggio di un impianto corrispondente alla fig. 11

Questo circuito è distinto nella fig. 11 da un tratto più marcato. Ripetete ora le nostre spiegazioni in tutti i particolari, e riflettete attentamente sul modo in cui si compiono le successive operazioni. Vi sarete accorti senz'altro che ora la batteria non serve che a fornire la debole corrente d'alimentazione del microfono; e infatti essa viene chiamata « *batteria microfonica* ». Essa può quindi essere di piccole dimensioni e trova facilmente posto. Nella fig. 11 si osserva inoltre che esistono due morsetti W_1 e W_2 per l'allacciamento di una suoneria separata; essi sono collegati direttamente con i corrispondenti morsetti della suoneria interna. Contrariamente agli impianti, che avete conosciuto finora, nei quali la chiamata si effettua con corrente continua e che abbisognano pertanto di suoneria a corrente continua, nelle disposizioni come quelle della fig. 11 si usano delle suonerie a corrente alternata, come quelle della fig. 21 della Dispensa N. 5, poichè la chiamata viene attuata con corrente alternata.

La fig. 12 rappresenta lo schema di montaggio di un impianto di questo genere. Nella stazione di sinistra è allacciata la suoneria separata.

Fig. 13 — Simbolo di una stazione telefonica sistema BL, con chiamata a induttore

Fig. 14 — Simbolo di una stazione telefonica sistema BL, con chiamata a batteria

Nella fig. 13 vedete il simbolo di una intiera stazione telefonica con chiamata ad induttore.

Da quanto abbiamo spiegato avete visto che, negl'impianti di questo genere, per l'alimentazione microfonica si usa una batteria incorporata nell'appa-

recchio stesso. Generalmente s'impiegano *batterie a secco*, le quali hanno però lo svantaggio di richiedere un controllo regolare e di dover essere sostituite abbastanza sovente. Inoltre l'*efficienza del microfono varia secondo lo stato di carica della batteria microfonica*, che può essere differente per le varie stazioni. Tutti questi inconvenienti vengono evitati applicando un altro sistema d'alimentazione microfonica, nel quale tutti gli utenti ricevono la corrente d'alimentazione microfonica da una batteria situata nella centrale telefonica.

Questo sistema vi sarà spiegato tra breve; per ora basta dire che, quando le stazioni ricevono la corrente d'alimentazione microfonica da una batteria situata nel luogo stesso della stazione, si parla di « *sistema a batteria locale* », mentre quando l'alimentazione microfonica proviene da un'unica batteria per tutti gli utenti, si parla di « *sistema a batteria centrale* ». Abbreviando, si dice « *sistema BL* » e « *sistema BC* ».

Per terminare vi mostriamo nella fig. 14 il simbolo di un apparecchio telefonico nel quale la chiamata avviene a mezzo della batteria, così come vi è stato descritto nella Dispensa N. 9.

MATEMATICA

Calcolo con le potenze

Avete certamente riconosciuto da parecchio tempo che tutta l'elettrotecnica è inconcepibile senza buone cognizioni di matematica. La matematica serve infatti a risolvere i problemi dell'elettrotecnica. Il lavoro pratico richiede continuamente che si esprima qualche grandezza in cifre.

Supponiamo che vogliate conoscere il valore di una resistenza. Le formule che avete appreso vi dicono come si fa a calcolarla. Occorre poi effettuare il calcolo vero e proprio: inserire i valori numerici, moltiplicare, dividere. Soprattutto nella tecnica dell'alta frequenza, in cui si usano spesso numeri assai grandi oppure assai piccoli, è necessario saper far di conto con tutta sicurezza. Vi spiegheremo quindi nel presente Capitolo un metodo di calcolo molto comodo, e scoprirete così, con piacere, che esso consente di eseguire con facilità anche calcoli assai complicati.

Fin dalla Dispensa N. 4, avete preso dimestichezza con l'operazione di *elevamento a potenza*. Nel frattempo questo sistema di calcolo ci è stato utile in varie occasioni. Basta quindi ripeterci soltanto per sommi capi: Invece di $a \cdot a$ si scrive a^2 e si legge « *a al quadrato* », oppure « *a alla seconda potenza* ». L'espressione « *al quadrato* » ci ricorda che, per calcolare l'area di un quadrato, bisogna elevarne il lato alla seconda potenza, e che in generale l'area si misura in metri quadrati e si ottiene moltiplicando la larghezza per la lunghezza. L'abbreviazione m^2 in luogo di *metro quadrato* non è altro che l'algebra applicata, poichè $m \cdot m = m^2$. La stessa cosa vale anche per l'unità di volume, il metro cubo. Il volume di un dado, per esempio, si calcola moltiplicando larghezza per lunghezza per altezza. Se i tre valori vengono espressi in m, ne risulta automaticamente, per il volume, l'unità $m \cdot m \cdot m = m^3$. Questa però non è altro che l'abbreviazione già nota per metro cubo.

L'elevazione a potenza non è quindi altro che una moltiplicazione ripetuta. In luogo di $5 \cdot 5 \cdot 5$ si scrive 5^3, significando così che il numero 5 va moltiplicato 3 volte per se stesso.

Elevazione a potenza: $9^3 = 729$ (3 → esponente; 9 → base; 729 → potenza)

Ricordatevi bene queste denominazioni, affinchè ci possiamo comprendere bene nelle pagine seguenti.

Come si fa ad elevare a potenza? Per il momento non abbiamo altra possibilità che di eseguire le moltiplicazioni accennate dall'esponente. 9^3 è quindi $9 \cdot 9 \cdot 9 = 729$. I quadrati, cioè le potenze con esponente uguale a 2, ed i cubi, cioè quelle con esponente uguale a 3, si trovano facilmente nelle tabelle, oppure sul regolo calcolatore.

Le operazioni matematiche, che finora abbiamo trattate, si possono applicare tutte alle potenze.

Addizione e sottrazione di potenze.

In questo caso non si presentano molte possibilità di calcolo, poichè le operazioni citate, come $6^2 + 6^4$ oppure $2^5 - 3^3$, non si possono effettuare altrimenti che calcolando dapprima le potenze ed eseguendo poi l'addizione o la sottrazione nel modo solito. Quindi: $2^5 - 3^2 = 32 - 9 = 23$.

Moltiplicazione e divisione di potenze.

Si distinguono tre casi:

1. La base è uguale (p. es., $5^7 \cdot 5^3$ oppure $8^4 : 8^2$).
2. Gli esponenti sono uguali (p. es., $11^3 \cdot 4^3$ oppure $7^6 : 2^6$)
3. Nè base, nè esponente sono uguali (p. es., $5^2 \cdot 6^5$ oppure $11^3 : 9^2$)

Il *primo caso* è particolarmente interessante.

Quando la base di più potenze da moltiplicare tra loro è la medesima, la moltiplicazione si effettua mediante addizione degli esponenti; e analogamente si effettua la divisione, mediante sottrazione degli esponenti.

Quindi: $3^2 \cdot 3^4 \cdot 3^7 = 3^{2+4+7} = 3^{13}$; oppure: $16^5 : 16^3 = 16^{5-3} = 16^2$.

Invece di una moltiplicazione o di una divisione dobbiamo dunque eseguire soltanto un'addizione od una sottrazione; questa è una semplificazione di cui dobbiamo naturalmente rammentarci.

Il fatto ora descritto, che per esempio $9^2 . 9^3 = 9^5$, ci fa ritenere che, inversamente, ogni potenza possa anche essere suddivisa in varie potenze. Si ha quindi $11^4 = 11^2 . 11^2$, oppure $306^5 = 306^2 . 306^3$.
Se si possiede una tabella delle potenze quadratiche, si può quindi calcolare abbastanza rapidamente anche potenze di grado superiore.

Esempio: $163^4 = 163^2 . 163^2$. Dalla tabella si ottiene $163^2 = 26\,569$.
Non resta quindi altro che eseguire la moltiplicazione: $26\,569 . 26\,569 = 705.911.761$.
(Questo procedimento è comunque più breve che moltiplicare 163 quattro volte per se stesso).

Secondo caso: Quando l'esponente di più potenze da moltiplicare o da dividere tra loro è uguale, si semplifica ugualmente l'operazione. Per esempio:
$7^3 . 6^3 = (7 . 6)^3 = 42^3$; $9^2 . 11^2 = (9 . 11)^2 = 99^2$. Ricordatevi perciò bene questa regola:
Quando gli esponenti sono uguali, si possono moltiplicare tra loro le basi ed elevare a potenza il loro prodotto.
Voi intuite i vantaggi di queste regole; presto riconoscerete però che esse permettono di ottenerne altri. Riassumiamo intanto di nuovo quanto abbiamo ora imparato:

1. Quando due o più potenze con la medesima base vanno moltiplicate o divise tra loro, si addizionano, rispettivamente si sottraggono, gli esponenti e si ottiene così l'esponente risultante della medesima base.

   Esempio: $5^2 . 5^7 = 5^{2+7} = 5^9$; $8^4 : 8^2 = 8^{4-2} = 8^2$.

2. Quando due o più potenze col medesimo esponente vanno moltiplicate tra loro, si moltiplicano tra loro le basi e si eleva a potenza, col medesimo esponente, il loro prodotto.

   Esempio: $4^3 . 8^3 = (4 . 8)^3 = 32^3$.

Nel *terzo caso*, cioè quando le basi e gli esponenti sono diversi, *non esiste possibilità di semplificazione*:

$$2^3 . 3^2 = 8 . 9 = 72; \quad 4^2 : 2^3 = 16 : 8 = 2.$$

Avanziamo ancora di un piccolo passo. È ovvio che le potenze possano, a loro volta, essere nuovamente elevate a potenza. Per esempio 4 al quadrato elevato al cubo, cioè $(4^2)^3$. Come si procede in questo caso? Facendo un'operazione per volta, si comincia col calcolare $4^2 = 16$ e si trova poi $16^3 = 4096$. Lo stesso risultato si ottiene però anche nel seguente modo: $(4^2)^3 = 4^{2 \cdot 3} = 4^6$. Fissiamo quindi la seguente regola:

Le potenze si elevano a potenza, moltiplicando tra loro gli esponenti e mantenendo inalterata la base.

Quindi: $(5^2)^3 = 5^{2 \cdot 3} = 5^6$; $(198^3)^5 = 198^{3 \cdot 5} = 198^{15}$.

Abbiamo imparato così le più importanti regole per il calcolo con le potenze. Forse, a tutta prima, vi parranno un po' difficili, ma questa è solo la prima impressione, poichè se ora ripeterete questo Capitolo, troverete che queste operazioni sono molto chiare. Anche in passato avete avuto, senza dubbio, difficoltà con l'una o l'altra specie di calcolo, e le avete superate, al punto che oggi tutto vi sembra evidente. La stessa cosa vi accadrà anche per il calcolo con le potenze, specialmente se risolverete un certo numero di esercizi.
Si tratta in fondo di poche, semplici nozioni, delle quali non potrete poi più fare a meno.

Le potenze formate con numeri negativi.

Nei calcoli non si riscontrano soltanto numeri positivi, come negli esempi precedenti, ma anche numeri negativi e simboli letterali. Che risultato si ottiene elevando a potenza un numero negativo? A questa domanda potete rispondere voi stessi, dopo aver risolto un facile esempio.
Proviamo a calcolare il valore della potenza $(-2)^2$. Si trova $(-2)^2 = (-2) . (-2) = +4$. Dovendo calcolare invece $(-2)^3$ dobbiamo porre per tre volte (-2) come fattore ed otteniamo $(-2) . (-2) . (-2) = -8$. Per $(-2)^4$ otteniamo $(-2) . (-2) . (-2) . (-2) = +16$. Ed ora osserviamo questi tre risultati l'uno accanto all'altro:
$(-2)^2 = +4$; $(-2)^3 = -8$; $(-2)^4 = +16$. Avete scoperto la regola nascosta dietro questi esempi?

Per elevare a potenza un numero negativo si calcola la potenza del valore assoluto e le si dà il segno + quando l'esponente è pari, il segno — quando l'esponente è dispari.

Numeri pari sono dunque 2, 4, 6, 8... numeri dispari 3, 5, 7, 9... Obbietterete che anche 1 è un numero dispari.

Che avviene quando si pone come *esponente il numero 1?* Per rispondere alla domanda, basta ricordare che l'esponente significa quante volte la base va moltiplicata per se stessa; quindi quando l'esponente è 1, vuol dire che bisogna scrivere il numero una volta sola, per esempio $2^1 = 2$; $-5^1 = -5$.

Un caso particolare è *il numero zero usato come esponente.*

Esso costituisce il punto d'incontro dei numeri positivi e negativi e voi immaginate certamente che accada qualche cosa di speciale. Esaminiamo un po' questo caso particolare. Cominciamo a scrivere alcune cose già note: $10^1 = 10$; $10^0 = ?$; $-10^1 = -10$.

Vedete che il valore cercato 10^0 sta tra $+10$ e -10. È forse uguale a zero? Niente affatto.

Quando una base qualsiasi viene elevata alla potenza zero, si ottiene il numero 1, indipendentemente dal valore della base.

Quindi: $10^0 = 1$; $284^0 = 1$; $14\,732^0 = 1$; $2{,}7^0 = 1$.

Questa affermazione vi parrà un po' improbabile. Ora però ve ne daremo la dimostrazione. Facciamo un esempio:

$6^2 : 6^2$ si può anche scrivere, secondo le regole che abbiamo visto in precedenza, 6^{2-2}. Sottraendo gli esponenti si ottiene zero, quindi $6^2 : 6^2 = 6^{2-2} = 6^0$. Ora sapete anche voi che il valore di tale potenza è 1- Infatti:

$$6^2 = 36; \quad 6^2 : 6^2 = 36 : 36 = 1$$

Il risultato 1 si ottiene *in ogni caso consimile*, poichè qualunque numero, diviso per se stesso, dà 1. Mettere l'esponente zero non significa altro che scrivere 1 in un modo particolare. Faremo presto uso di questa constatazione.

Ora facciamo un altro piccolo passo avanti e cerchiamo di esaminare che risultato si ottiene quando *la base è un numero positivo, ma l'esponente è negativo*. Ricordiamoci della regola secondo la quale, per dividere due potenze, basta eseguire la differenza degli esponenti.

Per esempio si potrebbe avere il seguente caso: $6^2 : 6^3$. Si ottiene qui un esponente negativo, perchè $6^2 : 6^3 = 6^{2-3} = 6^{-1}$. Calcoliamo il valore di 6^{-1} eseguendo la divisione iniziale:

$$6^2 = 36; \quad 6^3 = 216; \quad 6^2 : 6^3 = 36 : 216 = 0{,}166...$$

Non conoscete già questo numero? Non è altro che *la forma decimale della frazione* $\frac{1}{6}$ ($\frac{1}{6} = 0{,}166...$).

Questo è un risultato sorprendente, che forse non vi aspettavate. 6^{-1} è dunque uguale a $\frac{1}{6}$. Allo stesso modo potremmo calcolare che $6^{-2} = \frac{1}{36}$, il che equivale $\frac{1}{6^2}$. E parimenti $6^{-3} = \frac{1}{6^3}$.

Ricordiamoci quindi la seguente regola:

Una potenza con esponente negativo non è altro che il valore reciproco della medesima potenza con l'esponente positivo.

$$2^{-1} = \frac{1}{2^1}; \quad 5^{-2} = \frac{1}{5^2}; \quad 12^{-7} = \frac{1}{12^7}.$$

Le regole di calcolo, ora dimostrate, assumono particolare importanza quando sono applicate al numero 10 usato come base. Passiamo quindi alla loro utilizzazione pratica più nota, cioè al

Calcolo con le potenze decadiche.

In base a quanto abbiamo ora appreso, possiamo compilare la seguente tavola:

1 000 000 = 10 . 10 . 10 . 10 . 10 . 10	$= 10^6$	1/10 =	$\frac{1}{10}$	$= 10^{-1}$
100 000 = 10 . 10 . 10 . 10 . 10	$= 10^5$	1/100 =	$\frac{1}{10 . 10}$	$= 10^{-2}$
10 000 = 10 . 10 . 10 . 10	$= 10^4$	1/1 000 =	$\frac{1}{10 . 10 . 10}$	$= 10^{-3}$
1 000 = 10 . 10 . 10	$= 10^3$	1/10 000 =	$\frac{1}{10 . 10 . 10 . 10}$	$= 10^{-4}$
100 = 10 . 10	$= 10^2$	1/100 000 =	$\frac{1}{10 . 10 . 10 . 10 . 10}$	$= 10^{-5}$
10 = 10	$= 10^1$	1/1 000 000 =	$\frac{1}{10 . 10 . 10 . 10 . 10 . 10}$	$= 10^{-6}$
1 = 1	$= 10^0$			

Dovete convenire che è molto più spiccio scrivere semplicemente 10^6 in luogo del lungo numero 1 000 000, oppure, invece di 1/1 000 000, scrivere 10^{-6}. Se, per esempio, abbiamo il numero 54 000, scriviamo più brevemente $54 . 10^3$, perchè $54\,000 = 54 . 1000$ e $1000 = 10^3$. Oppure $7\,900 = 79 . 100 = 79 . 10^2$, o più semplicemente $7\,900 = 7{,}9 . 1000 = 7{,}9 . 10^3$.

Ecco un altro esempio: $0{,}00025 = 25 . 0{,}00001$. Il numero 0,00001 è semplicemente 1/100 000, ossia 10^{-5}, e quindi in luogo di 0,00025 si scrive più brevemente $25 . 10^{-5}$.

Prendiamo un altro caso più semplice: $0{,}08 = 8 . 10^{-2}$, poichè 0,08 non è altro che 8/100, e 1/100 si scrive 10^{-2}. Quindi riassumiamo:

I numeri elevati si esprimono con maggior semplicità sotto forma di potenze. Per far ciò, si separano con una virgola tante cifre finchè rimane un numero compreso tra 1 e 10, e si applica come fattore la potenza di 10, il cui esponente corrisponde al numero di cifre separate:

$2\,800 = 2{,}800 \,.\, 10^3 = 2{,}8 \,.\, 10^3$ $\qquad$ $14\,300 = 14{,}300 \,.\, 10^3 = 14{,}3 \,.\, 10^3$

$14\,300 = 1{,}4300 \,.\, 10^4 = 1{,}43 \,.\, 10^4$ $\qquad$ oppure $\qquad$ $62\,873 = 6{,}2873 \,.\, 10^4$

Anche le frazioni si rappresentano vantaggiosamente sotto forma di potenze. A questo scopo si moltiplicano tante volte per 10, finchè assumono un valore compreso tra 1 e 10, e si applica come fattore la potenza di 10, il cui esponente negativo corrisponde al numero di volte per il quale la frazione era stata moltiplicata per 10.

$0{,}03 = 3/100 = 3 \,.\, 10^{-2}$, perchè moltiplicata 2 volte per 10.

$0{,}008 = 8/1\,000 = 8 \,.\, 10^{-3}$, perchè moltiplicata 3 volte per 10.

$0{,}000\,0053 = 5{,}3/1\,000\,000 = 5{,}3 \,.\, 10^{-6}$, perchè moltiplicata 6 volte per 10.

Forse vi chiedete a che cosa si voglia giungere con tutto ciò. Soltanto a questo:

Basta con la lotta per la posizione della virgola!

A che serve un calcolo eseguito con gran dispendio di tempo e fatica, se per disattenzione la virgola viene messa in un posto sbagliato? Anche voi siete sicuramente già incappati in qualche errore di questo genere; queste disavventure non capitano però solo a voi, ma sono un male assai diffuso fra tutti coloro, che non impiegano le potenze nell'eseguire i calcoli. Gli effetti di questi errori ve li potete immaginare da soli. Pensate per esempio di aver indicato per una resistenza un valore 10 volte troppo piccolo, avendo messo la solita virgola al posto sbagliato. La minor cosa che può accadere è che brucino i fusibili. Peggio però se i fusibili non esistono; allora la resistenza brucerà e magari verrà anche sovraccaricato il generatore e si scalderà al punto da bruciare gl'isolanti. È meglio quindi mettere una *protezione* fin da quando si eseguisce il calcolo; essa consiste nell'uso delle potenze in luogo dei numeri grandi. In questo modo si trasportano tutti i numeri, grandi e piccoli, nell'ambito della comune tavola pitagorica, della quale avete senza dubbio completa padronanza.

Se poi avete preso dimestichezza con le operazioni sulle potenze, tutti i calcoli vi parranno più facili e dovrebbe essere ben difficile incorrere ancora in qualche errore. Dopo un certo esercizio sarete anche in grado di risolvere mentalemnte calcoli abbastanza complessi.

Lo studio diligente delle regole sulle potenze vi permetterà di guadagnarvi un altro importante vantaggio. Come è noto, il regolo calcolatore non indica la posizione della virgola; esso dà le sole cifre e la determinazione del numero di decimali, in base ai dati del problema, resta affidata a chi lo deve risolvere. Proprio in questo caso il calcolo con le potenze presta grandi servizi, poichè mentre il regolo consente di trovare le cifre, l'applicazione delle potenze dà, con la massima semplicità, il numero dei decimali.

Naturalmente nessuno nasce scienziato. Solo lo studio attento ed il continuo esercizio consentono di eseguire con sicurezza i calcoli più lunghi.

Non si richiede affatto che impariate a memoria il testo esatto delle regole; dovreste invece sapere subito in che modo si affrontano i problemi che vi vengono posti.

Per aiutarvi in questo senso, risolviamo ora alcuni esempi; altri ne potrete poi inventare voi stesso, risolvendoli nel vostro quaderno d'esercizi.

Sono da eseguire le seguenti moltiplicazioni:

Problema 1: $1128 \,.\, 341 = ?$

Soluzione: Usando le potenze per entrambi i fattori, scriviamo: $1128 \,.\, 341 = 1{,}128 \,.\, 10^3 \,.\, 3{,}41 \,.\, 10^2$

Una stima approssimativa vi dice fin d'ora che $1{,}128 \,.\, 3{,}41$ deve fare circa 4. Usando il regolo calcolatore trovate 3,85.

Ed ora il numero di cifre: $10^3 \,.\, 10^2 = 10^{3+2} = 10^5$; il risultato trovato va quindi moltiplicato per 100 000, ed otteniamo *385 000*. Questo numero si può lasciare scritto così, perchè è giusto; però chi conosce il significato delle potenze, preferirà vederlo scritto come segue: $3{,}85 \,.\, 10^5$.

Problema 2: $247\,000 \,.\, 79\,000 = ?$

Soluzione: $247\,000 \,.\, 79\,000 = 2{,}47 \,.\, 10^5 \,.\, 7{,}9 \,.\, 10^4$ $\quad$ $2{,}47 \,.\, 7{,}9 = 19{,}52$ e $10^5 \,.\, 10^4 = 10^{5+4} = 10^9$

Risultato: $19{,}52 \,.\, 10^9$, oppure per esteso, *19 520 000 000*.

Problema 3: È da eseguire la seguente moltiplicazione: $112{,}8 \,.\, 34{,}1 = ?$

Abbiamo qui i medesimi numeri del problema 1, ma con l'ultima cifra separata dalla virgola.

Soluzione: $112{,}8 = 1{,}128 \,.\, 10^2$ e $34{,}1 = 3{,}41 \,.\, 10^1$; $1{,}128 \,.\, 3{,}41 = 3{,}85$; $10^2 \,.\, 10^1 = 10^{2+1} = 10^3$.

Risultato: $3{,}85 \,.\, 10^3$, oppure scritto per esteso, *3850*.

Il numero delle cifre decimali non ha nessuna importanza di principio.

Problema: $36\,000 \,.\, 0{,}013 = ?$

Soluzione: Questa volta dobbiamo stare attenti, perchè il secondo fattore non è un numero intero. Però le potenze ci permettono di risolvere il problema con sicurezza e rapidità. $36\,000 = 3{,}6 \,.\, 10^4$.

Per scrivere 0,013 sotto forma di potenza, contiamo le volte che dobbiamo moltiplicare per 10 al fine di ottenere un numero compreso tra 1 e 10. Sono due volte, e quindi:

$0{,}013 = 1{,}3 \,.\, 10^{-2}$ (non dimenticate che l'esponente è negativo).

Ora eseguiamo la moltiplicazione:

$3{,}6 \cdot 1{,}3 = 4{,}68$ e $10^4 \cdot 10^{-2} = 10^{4-2} = 10^2$. Risultato: *4,68 . 10^2*, ossia: 468.

Problema 5: $0{,}0035 \cdot 18\,739 = ?$

Soluzione: $0{,}0035 \cdot 18\,739 = 3{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}8739 \cdot 10^4$

$3{,}5 \cdot 1{,}8739 = 6{,}55$ e $10^{-3} \cdot 10^4 = 10^{-3+4} = 10^1$

Risultato: *6,55 . 10^1*, ossia: 65,5.

Poblema 6: $0{,}0135 \cdot 0{,}0028 = ?$

Soluzione $0{,}0135 = 1{,}35 \cdot 10^{-2}$ e $0{,}0028 = 2{,}8 \cdot 10^{-3}$

Moltiplicando: $1{,}35 \cdot 2{,}8 = 3{,}78$ e $10^{-2} \cdot 10^{-3} = 10^{-2-3} = 10^{-5}$.

Risultato: *3,78 . 10^{-5}*, ossia 0,0000378.

Problema 7: $0{,}738 \cdot 0{,}000274 = ?$

Soluzione: $0{,}738 = 7{,}38 \cdot 10^{-1}$ e $0{,}000274 = 2{,}74 \cdot 10^{-4}$.

Moltiplicando:

$7{,}38 \cdot 2{,}74 = 20{,}22$ e $10^{-1} \cdot 10^{-4} = 10^{-1-4} = 10^{-5}$. Risultato: $20{,}22 \cdot 10^{-5}$, ossia 0,0002022.

Problema 8: $37\,100 \cdot \frac{1}{1428} = ?$

Soluzione: Osservando più attentamente questo problema, vedete che qui la moltiplicazione è veramente diventata una divisione, poichè $37\,100 \cdot \frac{1}{1428} = \frac{37\,100}{1428} = 37\,100 : 1428$

Non è quindi conveniente calcolare con le potenze, poichè, come sappiamo da tempo, il problema si può scrivere come segue:

$37\,100 : 1428 = 37{,}100 : 1{,}428 = 26$.

Poichè però le regole sulle potenze, che valgono in questo caso, sono utili anche nei problemi combinati, risolveremo il problema anche a questo modo:

$37\,100 = 3{,}71 \cdot 10^4$ e $1428 = 1{,}428 \cdot 10^3$.

Ci ricordiamo che nelle divisioni gli esponenti vanno sottratti:

$3{,}71 : 1{,}428 = 2{,}6$ e $10^4 : 10^3 = 10^{4-3} = 10^1$.

Risultato: *2,6 . 10^1*, ossia *26*.

Un caso simile si ha nel seguente esempio:

Problema 9: $37\,000 : 0{,}0014 = ?$

Soluzione: Usiamo di nuovo le potenze, come esercizio per i calcoli combinati, benchè anche in questo caso potrebbero bastare le solite regole: $37\,000 = 3{,}7 \cdot 10^4$; $0{,}0014 = 1{,}4 \cdot 10^{-3}$

$3{,}7 : 1{,}4 = 2{,}64$ e $10^4 : 10^{-3} = 10^{4-(-3)} = 10^{4+3} = 10^7$

Risultato: *2,64 . 10^7*, ossia *26 400 000*.

Risolveremo ora alcuni problemi dai quali il vantaggio dell'uso delle potenze risulta ancor più chiaramente.

Problema 10: $26\,300 \cdot 147 \cdot 9160 = ?$

Soluzione: $26\,300 = 2{,}63 \cdot 10^4$; $147 = 1{,}47 \cdot 10^2$; $9160 = 9{,}160 \cdot 10^3$

Moltiplicando: $2{,}63 \cdot 1{,}47 \cdot 9{,}16 = 35{,}41$ e $10^4 \cdot 10^2 \cdot 10^3 = 10^{4+2+3} = 10^9$.

Risultato: *35,41 . 10^9*, ossia *35 410 000 000*.

Vedete che i tre numeri si possono facilmente seguire, tanto che già a mente si può dire che il risultato deve stare fra 30 e 40; c'è poi la potenza 10^9. Provatevi un po' a risolvere questo problema senza usare le potenze!

Problema 11: $\frac{187\,921 \cdot 35\,915 \cdot 72\,392\,713}{45\,317 \cdot 833 \cdot 22\,179\,214} = ?$

Pensiamo che non avrete probabilmente voglia di risolvere questo problema nel modo abituale. Se ci accontentiamo della precisione ottenibile col regolo calcolatore, possiamo trovare il risultato assai rapidamente con l'aiuto delle potenze. Ci permettiamo nel contempo di arrotondare un po' qualche numero.

Soluzione: $187\,921 = 1{,}88 \cdot 10^5$; $35\,915 = 3{,}59 \cdot 10^4$; $72\,392\,713 = 7{,}24 \cdot 10^7$;

$45\,317 = 4{,}53 \cdot 10^4$; $833 = 8{,}33 \cdot 10^2$; $22\,179\,214 = 2{,}22 \cdot 10^7$.

Il calcolo si semplifica pertanto così:

$\frac{1{,}88 \cdot 3{,}59 \cdot 7{,}24}{4{,}53 \cdot 8{,}33 \cdot 2{,}22} = 0{,}582$; e $\frac{10^5 \cdot 10^4 \cdot 10^7}{10^4 \cdot 10^2 \cdot 10^7} = \frac{10^{5+4+7}}{10^{4+2+7}} = \frac{10^{16}}{10^{13}} = 10^{16-13} = 10^3$.

Risultato: *0,582 . 10^3*, ossia *582*.

Con ciò sarete indubbiamente convinti dei vantaggi del calcolo con potenze, poichè coi metodi finora usati non era possibile ottenere il risultato con maggior sicurezza ed in minor tempo.

Nell'esercizio seguente riuniremo i singoli valori numerici con le potenze, finora calcolati separatamente. Otteniamo così la forma più breve: non si tratta di qualcosa di nuovo, ma solo di scrivere un po' più brevemente, cosa che comprenderete immediatamente.

Problema 12: $\frac{22\,718 \,.\, 14\,735\,239 \,.\, 312}{118\,037 \,.\, 1218 \,.\, 28} = ?$

Soluzione: Trasformiamo i singoli numeri in potenze, che però scriveremo subito al loro posto. Il problema dato diventa allora, con qualche piccolo arrotondamento: $\frac{2{,}27 \,.\, 10^4 \,.\, 1{,}47 \,.\, 10^7 \,.\, 3{,}12 \,.\, 10^2}{1{,}18 \,.\, 10^5 \,.\, 1{,}22 \,.\, 10^3 \,.\, 2{,}8 \,.\, 10^1}$

Col regolo determiniamo dapprima le cifre solite. Eseguiamo dapprima la moltiplicazione delle espressioni nel numeratore e nel denominatore, e poi eseguiamo la divisione.

$$\frac{2{,}27 \,.\, 1{,}47 \,.\, 3{,}12}{1{,}18 \,.\, 1{,}22 \,.\, 2{,}8} = 2{,}58$$

Viene poi il turno delle potenze: $\frac{10^4 \,.\, 10^7 \,.\, 10^2}{10^5 \,.\, 10^3 \,.\, 10^1} = \frac{10^{4+7+2}}{10^{5+3+1}} = \frac{10^{13}}{10^9} = 10^{13-9} = 10^4$

Risultato: *2,58 . 10⁴*, ossia *25 800*.

Più semplice di così non è possibile; ora tutto il calcolo si tiene così facilmente sott'occhio, che le cause d'errore sono ridotte al minimo.

Questi esempi possono bastare per ora. Adesso tocca a voi: ricominciate con calma a studiare un'altra volta questo Capitolo. Riflettete attentamente su ogni operazione. Trovate e risolvete voi stesso degli esempi: basta scrivere dei numeri qualsiasi. Quando avrete acquistato una certa pratica, non vorrete più calcolare in altro modo. Finirete per trattare le potenze come se fossero la matematica più elementare, e quando, dopo la ripetizione, sarete ritornati a questo punto, sarete d'accordo con noi nel riconoscere che, in fondo, è tutto molto facile. Basta saper affrontare i problemi nella maniera giusta.

Quando tutto vi sarà chiaro, avrete appreso un sistema di calcolo molto pratico, che vi farà risparmiare molto tempo; non solo, ma nel medesimo tempo avrete vinto la vostra *battaglia delle virgole*. Capirete sempre meglio cosa ciò significhi. Chiedetelo agl'ingegneri ed ai tecnici più abili; vi confermeranno che non possono fare a meno delle potenze. Anche voi volete ottenere il successo; studiate quindi questo Capitolo finchè non avrete più alcuna incertezza sul calcolo con le potenze.

Poichè l'uso delle potenze decadiche è vantaggioso, anche i sistemi di misura sono fondati su di esse. Vi troviamo infatti continuamente dei multipli e quindi delle potenze di 10, e le nozioni ora apprese ci serviranno sempre. Vi mostreremo in questa stessa Dispensa le relazioni che si riscontrano nei sistemi di misura. Intanto ripetete bene le regole del calcolo con le potenze ed esercitatevi il più possibile in esso.

ELETTROTECNICA GENERALE

Reattanze pure

Abbiamo parlato molto spesso di *resistenze*. Nella Dispensa N. 6 abbiamo però già accennato all'esistenza di una cosiddetta « *resistenza reattiva* » che, per distinguerla meglio dalla comune resistenza ohmica, si chiama « *reattanza* ». Si vuol significare con questo termine *una resistenza che si comporta in un modo diverso dalla resistenza solita*, detta invece « *attiva* ». Diremo ora in quali casi si presentino queste reattanze, e come si comportino.

La reattanza induttiva.

Ricordate sicuramente le figure 59 e 60 della Dispensa N. 6, le quali mostravano che in una bobina d'induzione, percorsa dalla corrente alternata, agisce non soltanto la resistenza ohmica del filo di rame, ma anche una *reattanza induttiva*. La causa di questa reattanza è data dal fatto che la corrente alternata deve continuamente formare e poi di nuovo disfare un campo magnetico, il che richiede un certo dispendio di energia. Più rapida è questa variazione del campo, e più grande diventa la reattanza induttiva; essa aumenta quindi col crescere della frequenza. Se designiamo con R_{ind} *la reattanza induttiva*, non è però $R_{ind} = f \,.\, L$. È vero che R_{ind} cresce con l'aumentare della frequenza f e dell'induttanza L, ma il secondo membro dell'equazione va moltiplicato ancora con 2π. Il fattore $2\pi = 2 \,.\, 3{,}14 = 6{,}28$ ha una giustificazione matematica che qui non è il caso di mostrare. Basta semplicemente fissare con la seguente formula *il valore della reattanza induttiva*:

$$R_{ind} = 2\pi \,.\, f \,.\, L = 6{,}28 \,.\, f \,.\, L \text{ (ohm)} \qquad \text{Formula (27)}$$

Il fattore $2\pi \,.\, f$ viene generalmente unito e si pone $2\pi \,.\, f = \omega$ (ω si legge « *omega* »). ω si chiama « *pulsazione* ».

Otteniamo così una formula di particolare importanza nella tecnica delle telecomunicazioni:

$$R_{ind} = \omega . L \qquad \text{Formula (28)}$$

Vi preghiamo di ricordare bene questa relazione.

La *reattanza induttiva* dipende quindi dalla *pulsazione*, cioè dalla *frequenza*. Inoltre, contrariamente alla resistenza ohmica, *essa non consuma potenza*; infatti non è dovuta all'attrito degli elettroni nell'interno del materiale conducente e quindi *non sviluppa nemmeno calore*. Questo comportamento si spiega anche in altro modo. Per formare il campo magnetico occorre una certa potenza e quindi anche un certo *lavoro*, poichè la formazione del campo richiede un certo tempo. *Quando però il campo viene annullato, esso restituisce il lavoro speso*. In tal modo non esiste un consumo, ma solo una potenza, che fluisce ora in un senso, ora nell'altro.

In futuro adopereremo la sigla R_L in luogo di R_{ind} per esprimere la *reattanza induttiva*, volendo così significare che si tratta di una *resistenza dovuta ad un'induttanza*.

L'unità di misura per la reattanza, come per la resistenza attiva, è l'*ohm*, benchè le due grandezze non abbiano fisicamente alcuna origine comune. Comunque l'effetto è simile, e *anche per le reattanze vale la legge di Ohm* e si può scrivere $R_L = \frac{V}{I}$ quando si ha una reattanza pura. Non occorrono ulteriori spiegazioni, poichè ormai la legge di Ohm vi è nota.

La reattanza capacitiva.

Nella Dispensa N. 7 avete appreso che un condensatore lascia passare la corrente alternata tanto meglio, quanto maggiore è la sua capacità, nonchè la frequenza della corrente alternata. Se lascia passare bene la corrente, vuol dire che ha una piccola resistenza, e quindi dovremmo poter scrivere la seguente formula:

$$R_{cap} = \frac{1}{f . C}$$

R_{cap} è la resistenza o meglio, come vedremo, la *reattanza capacitiva*; C significa la *capacità del condensatore*, espressa in farad.

Anche questa formula non è però esatta: dobbiamo aggiungere il fattore 2π ed otteniamo

$$R_{cap} = \frac{1}{2\pi . f . C} \qquad \text{Formula (29)}$$

Anche in questo caso si usa la *pulsazione* ω in luogo dell'espressione $2\pi . f$, per cui si ottiene la seguente formula, generalmente usata:

$$R_{cap} = \frac{1}{\omega . C} \qquad \text{Formula (30)}$$

Cercate di ricordare bene anche questa formula, che non è meno importante della (28).

Anche qui non si tratta, come abbiamo detto, di una resistenza attiva, mancando, come nel caso della bobina d'induttanza, la principale caratteristica delle resistenze attive, cioè l'attrito degli elettroni ed il conseguente sviluppo di calore. Abbiamo quindi una *reattanza* che, per distinguerla da quella delle bobine, si chiama « *reattanza capacitiva* ». Anch'essa non consuma potenza; infatti è causata dal fatto che, tra le armature del condensatore, si forma un campo elettrostatico, analogamente al campo magnetico che si forma nelle bobine di induzione. Quando, a seguito della variazione di direzione della corrente alternata, il campo elettrostatico viene annullato, esso restituisce il lavoro speso per la propria formazione.

La differenza di fase.

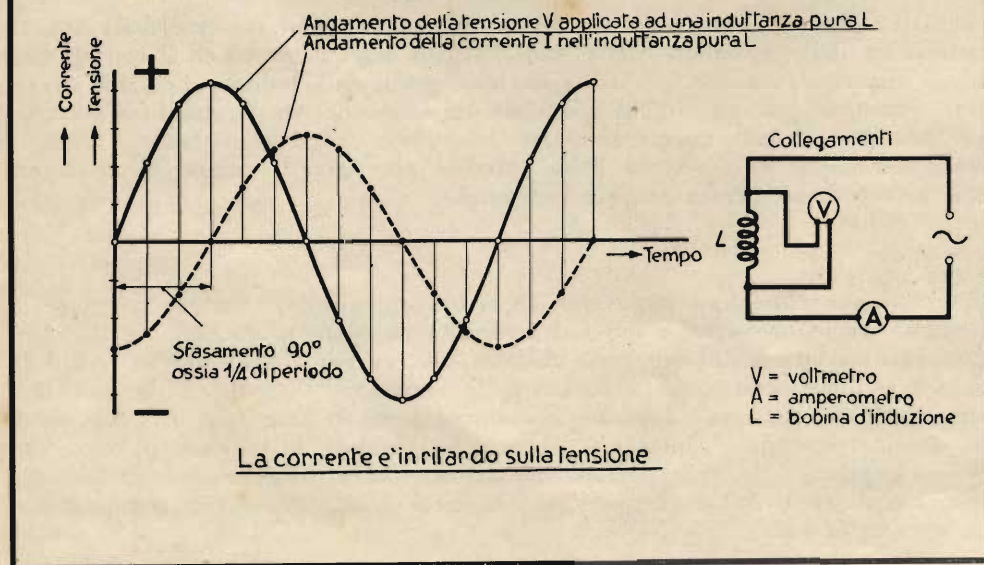
Secondo quanto avete appreso finora, è per voi ovvio che, crescendo la tensione applicata ad una determinata resistenza, cresca nel medesimo istante anche la corrente che l'attraversa, così come lo richiede la legge di Ohm, considerata ad ogni singolo istante. Ora dobbiamo però chiarire che, se ciò è vero per le resistenze attive, non lo è, o lo è solo con determinate limitazioni, nel caso delle reattanze. Disegniamo dunque dapprima il diagramma della corrente alternata, nel quale tensione e corrente sono *in fase* (fig. 15). La curva continua rappresenta la tensione, quella tratteggiata l'intensità di corrente. Quando la tensione è zero, non passa corrente, e quando la tensione raggiunge il suo valore massimo, anche la corrente possiede la massima intensità. Questo è il comportamento nelle *resistenze attive*, che già conoscete. Esso viene caratterizzato dicendo che « *la tensione e la corrente sono in fase* ».

Questa espressione significa che le due grandezze variano sempre contemporaneamente e nel medesimo senso.

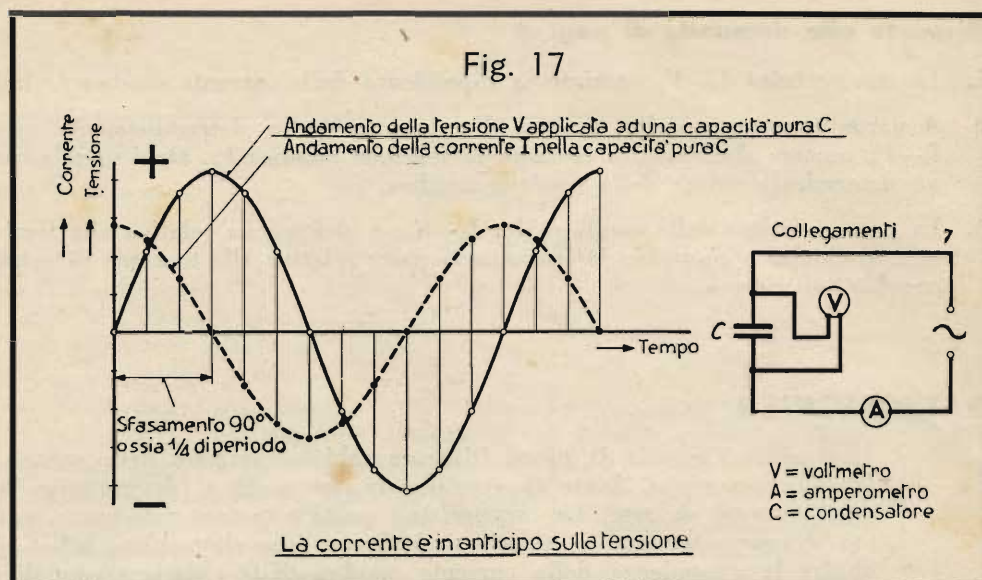
Quando però la corrente alternata deve formare un campo magnetico in una bobina, le cose sono alquanto differenti. Come sapete dal Capitolo sull'« Autoinduzione » della Dispensa N. 6, ogni variazione del campo magnetico induce una tensione rivolta in modo da contrastare alla variazione stessa. Se quindi si applica una tensione ad un circuito contenente un'induttanza, la corrente non assume subito il proprio valore definitivo, ma lo raggiunge solo dopo un certo tempo, mentre invece la tensione mantiene lo stesso valore fin dal primo istante. La medesima cosa avviene applicando una tensione alternata; la corrente non riesce infatti a mantenersi alla pari con la tensione, ma la segue dopo un certo tempo: si dice perciò che è « *sfasata* ».

Se potessimo far scomparire completamente tutte le resistenze ohmiche, anche quella del filo della bobina, avremmo che la corrente, nella bobina d'induzione, raggiunge il suo massimo soltanto nel medesimo istante, in cui la tensione è di nuovo ritornata a zero. Quando poi la tensione è arrivata al massimo valore in senso negativo, arriva a zero anche la corrente, che segue sempre con lo stesso ritardo. Questo comportamento è rappresentato nella fig. 16. *Tra la tensione e la corrente esiste quindi una differenza di fase.*

Com'è noto, la durata di un periodo si può esprimere anche in gradi angolari, riferendosi, per esempio, alla rotazione della spira nella quale viene indotta la corrente alternata (Dispensa N. 9, fig. 41). Un periodo ossia, come si dice pure, un'« *alternanza* » completa, corrisponde ad una rotazione di 360°. Dallo zero al massimo positivo, la *tensione* percorre quindi 90°. Poichè la *corrente* entra solo in questo istante nel campo positivo, si dice che essa presenta un *ritardo di fase* (sfasamento in ritardo) di 90°.

Nelle induttanze pure la corrente segue la tensione di un quarto di periodo. La differenza di fase tra la corrente e la tensione equivale a 90°, e si dice induttiva.

Il comportamento esattamente opposto a quello delle induttanze si ha nelle capacità. Dalle spiegazioni della Dispensa N. 6 sapete già che la carica di un condensatore avviene per trasporto di elettroni da una armatura all'altra di un condensatore. Nell'armatura in cui c'è *ressa* di elettroni, si ha una carica negativa; nell'altra, in cui mancano elettroni, una carica positiva. Quando al condensatore è applicata una tensione alternata, la corrente è nulla nell'istante in cui questa carica è massima, poichè proprio allora tutti gli elettroni sono passati dalla piastra positiva a quel-

la negativa. Contemporaneamente però è massima anche la tensione applicata al condensatore. In questo caso la corrente precede la tensione. Supponiamo ancora che tutte le resistenze siano annullate; allora la differenza di fase tra corrente e tensione è ancora di 90° esatti, com'è rappresentato nella fig. 17.

Nelle capacità pure la corrente precede la tensione di un quarto di periodo. La differenza di fase tra la corrente e la tensione equivale a 90°, e si dice capacitiva.

Forse a tutta prima questi concetti vi parranno un po' nebulosi. Ma se rifletterete un po' con calma, vi diverranno presto evidenti. In un Capitolo successivo parleremo delle loro applicazioni.

Riassumendo, contrapponiamo ancora una volta *resistenza ohmica*, *reattanza induttiva* e *reattanza capacitativa*.

La resistenza, per esempio quella di un pezzetto di carbone, si chiama ohmica. Gli elettroni incontrano nel loro movimento un'effettiva resistenza, devono vincere un certo attrito e sviluppano in tal modo del calore.

La resistenza ohmica è quindi una resistenza attiva o resistenza reale, la quale consuma potenza.

Corrente e tensione variano assieme: sono *in fase*. *Il valore della resistenza ohmica è indipendente dalla frequenza* ed è il medesimo, sia a corrente continua come a corrente alternata.

Le reattanze invece si riscontrano solo con la corrente alternata, tanto nelle induttanze che nelle capacità. Esse *non consumano potenza*, sono *dipendenti dalla frequenza*, *producono una differenza di fase* e non hanno nulla a che vedere con le resistenze attive. *Tra la reattanza induttiva e quella capacitiva ci sono le seguenti differenze: nella prima la reattanza aumenta col crescere della frequenza, nella seconda invece diminuisce.*

Nella reattanza induttiva la corrente è in ritardo; nella reattanza capacitiva la corrente è in anticipo.

Benchè le reattanze di entrambi i tipi non consumino potenza, si calcola anche per loro il prodotto della corrente e della tensione e lo si chiama « *potenza reattiva* ». Analogamente si parla di « *corrente reattiva* » e di « *tensione reattiva* », quando esiste fra di esse una differenza di fase di un quarto di periodo.

Per il collegamento in serie ed in parallelo delle reattanze valgono le stesse formule delle resistenze ohmiche: nel collegamento in serie si sommano le resistenze, rispettivamente le reattanze; nel collegamento in parallelo si sommano le conduttanze, rispettivamente le suscettanze.

Abbiamo sempre parlato in questo Capitolo di *reattanze pure*, di *induttanze pure* e di *capacità pure*. Con ciò volevamo dire che in esse non deve sussistere alcuna unione con reattanze di tipo differente o con resistenze. Una *resistenza ohmica pura* non è quindi dotata di alcuna reattanza induttiva o capacitiva; un'*induttanza pura* è altrettanto priva di resistenza ohmica e di capacità. Ora, se è facile comprendere che una resistenza ohmica può essere pura, basta una breve riflessione per concludere che *ogni induttanza dev'essere affetta da una, sia pur piccola, resistenza ohmica: quella del filo d'avvolgimento*. Generalmente però la reattanza è molto superiore alla resistenza e si può quindi ritenere che si tratti di una induttanza pressochè pura.

Quando in un circuito sono presenti tanto reattanze che resistenze, si ottiene una specie di *resistenza composta* che viene denominata « *impedenza* ». La differenza di fase tra la corrente e la tensione può assumere un qualsiasi valore compreso tra + 90° (sfasamento induttivo) e — 90 (sfasamento capacitivo); esso dipende dalla maggiore o minor presenza nel circuito dell'una o dell'altra reattanza, o della resistenza. Ogni impedenza si può considerare composta da una resistenza ed una reattanza pura, dal valore delle quali si deduce il comportamento della corrente col variare della frequenza. Nel proseguimento di questo Corso torneremo nuovamente sull'argomento.

Domande

1. Che cosa s'intende per *reattanza*?
2. Quali specie di reattanze esistono?
3. Con che specie di reattanza la corrente precede la tensione, e con quale altra la segue?
4. Quali sono le formule che danno la reattanza delle bobine, rispettivamente dei condensatori?

Risposte alle domande di pag. 4

1. La caratteristica I_a—V_g esprime la dipendenza della corrente anodica I_a dalla tensione di griglia V_g.

2. A parte la costanza della tensione d'accensione, nella determinazione sperimentale della caratteristica I_a—V_g occorre che rimanga costante la tensione anodica V_a. Ogni singola caratteristica I_a—V_g vale solo per *un* determinato valore della tensione anodica.

3. La parte inferiore della caratteristica I_a—V_g, e cioè quella relativa alle forti polarizzazioni negative di griglia, si chiama « *ginocchio inferiore* »; la parte relativa alla tensione di griglia più positiva si chiama « *ginocchio superiore* ».

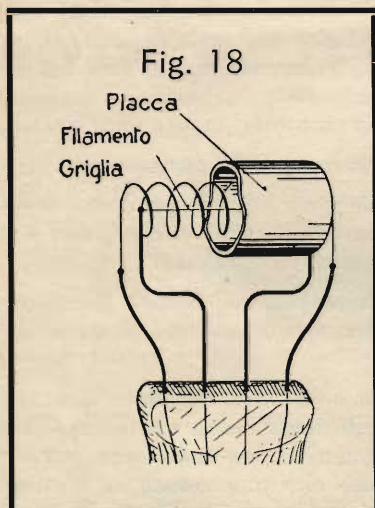
RADIOTECNICA

Nel primo Capitolo di questa Dispensa abbiamo trattato delle misure che si eseguiscono sulle valvole termoioniche. Avete appreso così in che modo si determinano le caratteristiche e ciò che si può rilevare da esse. La *caratteristica* porta a ragione tale nome, poichè essa caratterizza totalmente il comportamento e le proprietà di un tubo elettronico. Infatti, non solo essa permette di stabilire la dipendenza della corrente anodica dalla polarizzazione di griglia, ma, come ora vi mostreremo, dalla caratteristica si possono rilevare varie proprietà della valvola importanti per il suo uso.

Le grandezze caratteristiche di una valvola termoionica

L'infraeffetto.

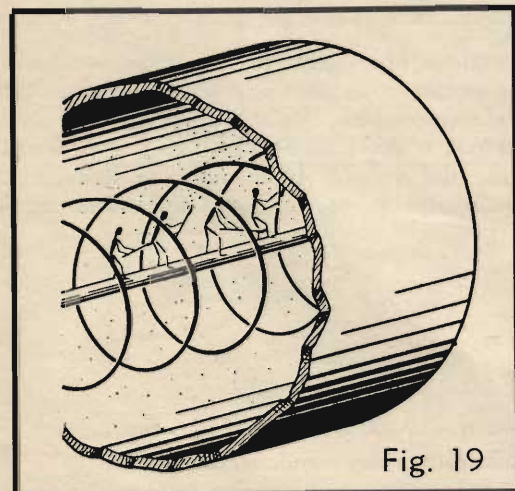
Come già sapete, la corrente anodica è tanto più grande, quanto più acceso è il filamento e quanto più elevata è la tensione anodica. Inoltre la corrente anodica dipende dal valore e dalla polarità della tensione di griglia. Con una crescente *polarizzazione positiva* di griglia la corrente anodica aumenta d'intensità; con una crescente *polarizzazione negativa*, essa diminuisce.

Fig. 18

L'intensità della corrente anodica, ossia del flusso di elettroni nella valvola, non dipende però soltanto dalle tensioni applicate, siano l'anodica oppure quella di griglia o d'accensione, ma anche *dalla conformazione interna della valvola*. Nella fig. 18 si vede nuovamente il sistema di una valvola semplice con filamento centrale. La griglia è costituita da un filo disposto ad elica a una certa distanza attorno al filamento. Più in fuori c'è la placca cilindrica, che circonda la griglia.

Nella fig. 19 è disegnato ingrandito un particolare del sistema. Si scorge al centro il filamento, all'esterno la placca e frammezzo alcune spire della griglia. Per spiegarci meglio, abbiamo disegnato sul filamento alcuni ometti, che supponiamo intenti a lanciare gli elettroni attraverso le maglie della griglia, verso l'anodo. Ciò però sarà tanto più difficile, quanto più le spire della griglia saranno fitte. Alcuni elettroni colpiranno infatti la griglia, rimbalzando.

Una griglia a spire strette esercita lo stesso effetto di una polarizzazione negativa di griglia: provoca una corrente anodica debole.

Se invece supponiamo che le spire della griglia siano rade, possiamo immaginare facilmente che gli elettroni, lanciati verso l'anodo, raggiungano in maggior numero la meta.

Fig. 19

Una griglia a spire larghe esercita lo stesso effetto di una polarizzazione positiva di griglia: provoca una corrente anodica forte.

Nella tecnica elettronica si usa l'espressione « *infraeffetto* ». Si immagina infatti che il campo elettrico, prodotto dalla carica positiva della placca, agisca, attraverso la griglia, sul filamento. Ricordate in proposito che l'intensità della corrente anodica è influenzata dal valore della tensione di placca. Più alta è la tensione anodica, e maggiore è il suo effetto sugli elettroni emessi dal catodo. La carica positiva della placca si fa sentire attraverso le maglie della griglia, per attrarre il maggior numero possibile di elettroni. Naturalmente questo effetto dell'anodo sul catodo, o *infraeffetto*, è reso più difficile, se le spire della griglia stanno assai vicine tra loro.

D'altra parte, se la placca è vicina al filamento, l'infraeffetto è grande; se invece la distanza è maggiore, l'infraeffetto diminuisce.

Concludendo, ecco il comportamento riassunto in una tabella:

	Infraeffetto	
	piccolo	*grande*
spire della griglia	*strette*	*larghe*
distanza anodo-catodo	*grande*	*piccola*

Come abbiamo detto, la caratteristica permette di rilevare tutti i dati più importanti di una valvola, e così è possibile anche ricavare da essa il valore dell'infraeffetto. Osservate la fig. 20. Vi sono riportate tre caratteristiche della medesima valvola, riferite l'una alla tensione anodica $V_a =$ $= 100$ volt, l'altra a $V_a = 80$ volt e la terza a $V_a = 60$ volt.

Da queste tre curve si nota che una variazione di 40 volt della tensione anodica provoca il medesimo effetto di una variazione di 2 volt della tensione di griglia. Infatti la curva relativa alla tensione anodica di 100 volt mostra, con la polarizzazione di griglia $V_g = -2$ volt, che la corrente anodica è uguale a 7 milliampère (punto *A*). Se portiamo la polarizzazione di griglia a -4 volt (variazione $= 2$ volt) otteniamo, sempre con 100 volt di tensione anodica, una corrente anodica di soli 3 milliampère (punto *B*). La stessa corrente di 3 mA la possiamo però ottenere anche portando la tensione di placca V_a a 60 volt in luogo di 100, conservando in compenso la polarizzazione di griglia $V_g = -2$ volt (punto *C*). La variazione della tensione anodica da 100 a 60 volt, quindi di $100 - 60 = 40$ volt, esercita dunque il medesimo effetto della variazione della tensione di griglia da -2 a -4 volt, quindi di $-2 - (-4) =$ $= 2$ volt. In questo esempio l'infraeffetto equivale a $\frac{2}{40} = \frac{1}{20} = 0{,}05$, ossia al 5 %, poichè la tensione anodica, in paragone alla tensione di griglia, agisce sul catodo solo per $\frac{1}{20}$ ossia per il 5 % del proprio valore. L'infraeffetto costituisce quindi un fattore di paragone tra l'effetto esercitato sugli elettroni, e quindi sulla corrente anodica, dalla tensione anodica V_a, e l'analogo effetto esercitato dalla tensione di griglia V_g.

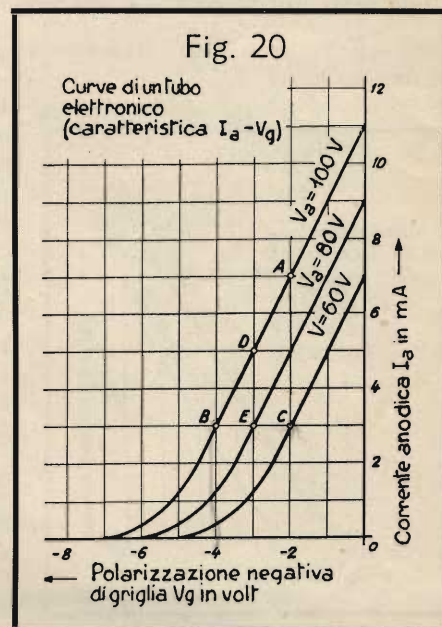
L'infraeffetto si rappresenta con la lettera *D*. $D = \frac{1}{20} = 0{,}05$, ossia $D = 5$ %, significa che una variazione qualsiasi della tensione di placca, p. es. 40 volt, ha sulla corrente anodica il medesimo effetto di una variazione della tensione di griglia uguale al 5 %, ossia 20 volte più piccola, p. es. 2 volt $\left(\frac{1}{20} \cdot 40 \text{ volt} = 2 \text{ volt}\right)$. La variazione della tensione di griglia $\Delta V_g = 2$ volt agisce nello stesso modo come la variazione della tensione anodica $\Delta V_a = 40$ volt.

Come vedete, l'importo per il quale viene *variata* una data grandezza viene espresso con la lettera maiuscola greca Δ (« *delta* »). *ΔV_g non indica dunque un prodotto, ma una variazione della tensione di griglia.*

Se la tensione di griglia variasse soltanto di $\Delta V_g = 1$ volt, p. es. da -3 volt a -4 volt, la corrente anodica diminuirebbe, per $V_a = 100$ volt, da 5 a 3 milliampère (punti *D* e *B* della fig. 20). Poichè l'infraeffetto $D =$ $= \frac{1}{20}$, si ottiene la medesima variazione della corrente anodica variando la tensione anodica di $\Delta V_a = 20$ volt, quindi da $V_a = 100$ volt a $V_a = 80$ volt, e mantenendo $V_g = -3$ volt (punti *D* ed *E* della fig. 20). $\Delta V_a =$ $= 20$ volt ha quindi il medesimo effetto come $\Delta V_g = 1$ volt. In ogni caso, nelle curve della fig. 20 la variazione della tensione di griglia ΔV_g è uguale al 5 %, ossia a $\frac{1}{20}$ dell'equivalente variazione della tensione anodica ΔV_a. Da ciò si deduce che $\Delta V_g = D \cdot \Delta V_a$, ossia:

$$\text{Infraeffetto } D = \frac{\Delta V_g}{\Delta V_a} \qquad \text{Formula (31)}$$

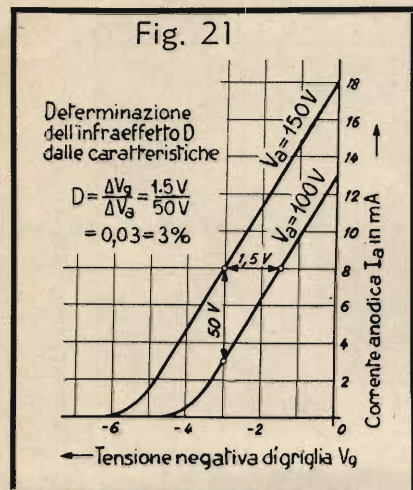
Per ottenere il valore dell'infraeffetto in percento, bisogna moltiplicare per 100 il risultato. Negli esempi della fig. 20 si ha $D = \frac{2}{40} = 0{,}05$, oppure $D = \frac{1}{20}$, oppure $D = 0{,}05 \cdot 100 = 5$ %.

Se si variassero dello stesso importo, una volta la tensione anodica, ed una volta quella di griglia, la seconda provocherebbe una variazione 20 volte maggiore della corrente anodica. L'effetto della tensione anodica attraverso alla grgilia equivale solo ad un ventesimo del proprio valore. Volendo ottenere il medesimo effetto, bisogna che ΔV_a sia $\frac{1}{D} = 20$ volte ΔV_g.

Finora abbiamo supposto che venisse variata la tensione anodica, oppure quella di griglia, e abbiamo considerato la conseguente variazione della corrente anodica. Ora vogliamo invece fare in modo che I_a rimanga invariata, e modifichiamo quindi tanto V_a che V_g. Si ottiene lo stesso valore della corrente anodica $I_a = 3$ mA (figura 20) per $V_a = 100$ volt e $V_g = -4$ volt (punto *B*), come per $V_a = 60$ volt e $V_g = -2$ volt (punto *C*). Come vedete, in questo caso sono state variate contemporaneamente la tensione anodica da 100 a 60 volt e quella di griglia da —4 a —2 volt; si sono quindi effettuate le variazioni $\Delta V_a = 40$ volt e $\Delta V_g = 2$ volt. Risulta a questo modo ancor più evidente il significato dell'infraeffetto $D = \frac{\Delta V_g}{\Delta V_a} = \frac{2}{40} = \frac{1}{20} = 0{,}05$.

Concludendo, constatiamo che l'infraeffetto *D* costituisce un termine di paragone dell'effetto della polarizzazione di griglia con quello della tensione anodica. Poichè la griglia è più vicina al catodo, basta una variazione assai più piccola del suo valore per provocare la medesima variazione della corrente anodica; pertanto l'infraeffetto $D = \frac{\Delta V_g}{\Delta V_a}$ sarà sempre una frazione inferiore ad 1 e potrà quindi essere espresso sotto forma di percentuale.

Per determinare *D* bisogna avere almeno due caratteristiche. La distanza orizzontale tra le due curve (che si misura con maggior facilità nel tratto *rettilineo* della caratteristica), espressa in volt, equivale a ΔV_g. Eseguendo poi la differenza tra i valori della tensione anodica relativi alle due curve considerate, si ottiene ΔV_a. Si divide poi ΔV_g per ΔV_a e si ha *D*. Questo procedimento è dimostrato nella fig. 21.

La distanza orizzontale ΔV_g tra le caratteristiche relative a due determinate tensioni anodiche è quindi una misura dell'infraeffetto. Nella fig. 22 sono riportate le caratteristiche di due valvole differenti, per le tensioni anodiche di 120 V e 80 V. La variazione della tensione di placca è quindi in entrambi i casi $\Delta V_a = 120 - 80 = 40$ volt. Per la valvola della fig. 22-a la distanza delle due caratteristiche è $\Delta V_g = 4$ V, dimodochè ne consegue un infraeffetto $D = \frac{\Delta V_g}{\Delta V_a} = \frac{4}{40} = 0{,}1$ ossia 10 %; invece per la valvola della fig. 22-b la distanza orizzontale è $\Delta V_g = 8$ V, quindi il doppio. Pertanto anche l'infraeffetto è doppio, essendo

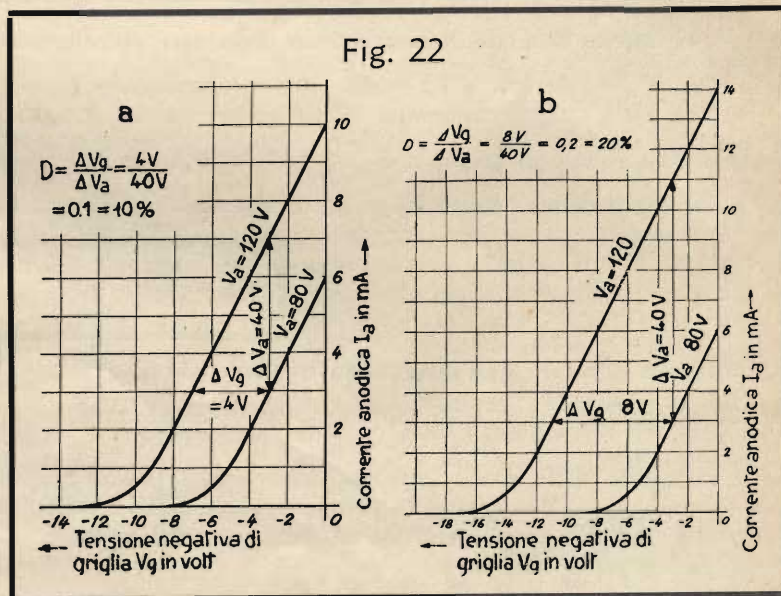
$$D = \frac{\Delta V_g}{\Delta V_a} = \frac{8}{40} = 0{,}2, \text{ ossia } 20\ \%.$$

Confrontando le due rappresentazioni grafiche (fig. 22-a e 22-b), notate subito che alla distanza orizzontale piccola delle due curve corrisponde un infraeffetto piccolo mentre ad una distanza grande corrisponde un grande infraeffetto. In generale l'infraeffetto è tanto maggiore, quanto più distanti sono le caratteristiche di una valvola. Occorre però badare che le due curve considerate si riferiscano alle medesime tensioni anodiche, affinchè ΔV_a abbia il medesimo valore. *In pratica i massimi infraeffetti sono sul 25 %.*

Il fattore d'amplificazione.

In luogo dell'infraeffetto si preferisce spesso usare nei calcoli il cosiddetto « *fattore d'amplificazione* » μ (leggi « *mi* »). *Il fattore d'amplificazione indica qual è la massima amplificazione ottenibile con una determinata valvola.* (Tratteremo in seguito particolareggiatamente dell'amplificazione mediante valvole termoioniche). *Il fattore d'amplificazione è il reciproco dell'infraeffetto.*

Un infraeffetto dell'11 % corrisponde quindi ad un fattore d'amplificazione uguale a 1 : 0,11 = circa 9. Si badi che, per ricavare il fattore d'amplificazione dall'infraeffetto, occorre che quest'ultimo non venga espresso in percento; bisogna quindi porre, in luogo di 11 %, $\frac{11}{100} = 0{,}11$. Con un infraeffetto del 20 % si ottiene un fattore d'amplificazione di 1 : 0,2 = 5; con l'infraeffetto del 10 % il fattore d'amplificazione è 1 : 0,1 = 10. *Più grande è l'infraeffetto, e minore è il fattore d'amplificazione* (e viceversa).

Tutto ciò è facile da comprendere, se si osserva che, per esempio, con l'infraeffetto $D = 20\ \%$ ossia $0{,}2 = \frac{1}{5}$, una variazione della tensione di griglia $\Delta V_g = 3$ V provoca la stessa variazione della corrente anodica come una variazione della tensione anodica $\Delta V_g = \frac{\Delta V_g}{D} = \frac{3}{0{,}2} = 15$ V, quindi uguale a 5 vol-

te ΔV_g. La piccola variazione della tensione di griglia $\Delta V_g = 3$ V viene quindi amplificata, ottenendo una variazione della tensione anodica 5 volte maggiore, $\Delta V_a = 15$ V. Il fattore d'amplificazione è $\mu = \frac{1}{D} = \frac{1}{0,2} = 5$. Si può eseguire quindi il seguente calcolo: $\Delta V_a = \mu \cdot \Delta V_g = 5 \cdot 3 = 15$ V.

La pendenza.

Un altro concetto, che vi deve divenire familiare, è quello della *pendenza*.

Osservate le caratteristiche della fig. 23. Sono le caratteristiche di due valvole diverse, diciamo della valvola *A* e della valvola *B*. La curva della valvola *A* è molto più ripida della curva della valvola *B*. Il radiotecnico dice: « *La pendenza della valvola A è maggiore di quella della valvola B* ».

Dovendo scegliere tra due valvole, si preferirà quasi sempre quella di *pendenza maggiore*.

La pendenza elevata è importante soprattutto nelle valvole amplificatrici.

La pendenza di una valvola si esprime mediante una frazione:

$$\text{Pendenza} = \frac{\textit{Variazione della corrente anodica}}{\textit{Variazione della tensione di griglia}}$$

Espressa matematicamente, ponendo la sigla S per la pendenza, si ottiene:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g} \qquad \text{Formula (32)}$$

Forse questa formula, per il momento, non vi dirà molto. Osservate la caratteristica relativa a 200 volt di tensione anodica, riportata nella fig. 24. Abbiamo scelto un punto qualsiasi di questa curva, il punto *A*. Pure a piacimento si sceglie un altro punto *B*. Tracciamo la perpendicolare da *A* e l'orizzontale da *B*: le due rette si intersecano nel punto *C*. Misuriamo ora la distanza dal punto *A* al punto *C*, espressa in milliampère. Troviamo il valore 16. La distanza orizzontale da *B* a *C* viene misurata invece in volt e troviamo che equivale a 8. Infatti variando la tensione di griglia da —14 V a —6 V, quindi di $\Delta V_g = 8$ V, la corrente di placca aumenta da 8 mA a 24 mA, quindi di $\Delta I_a = 16$ mA.

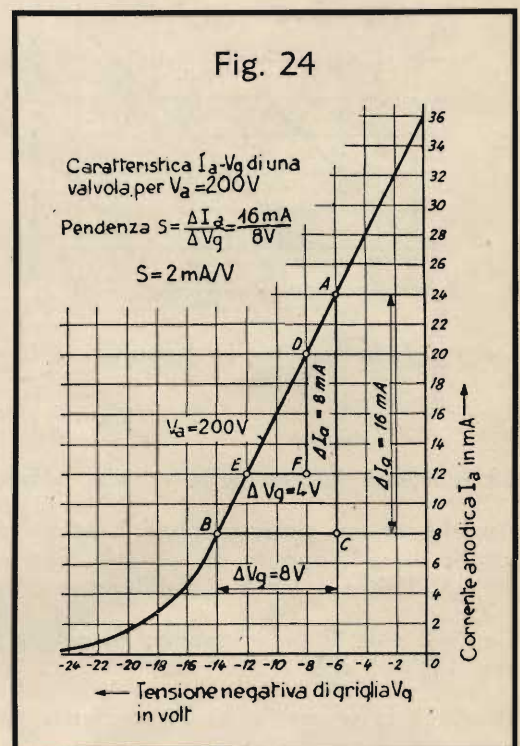
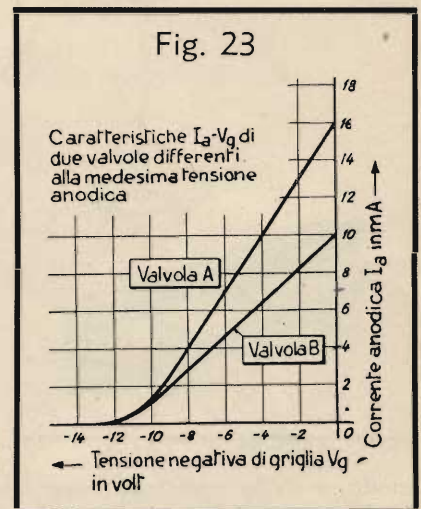
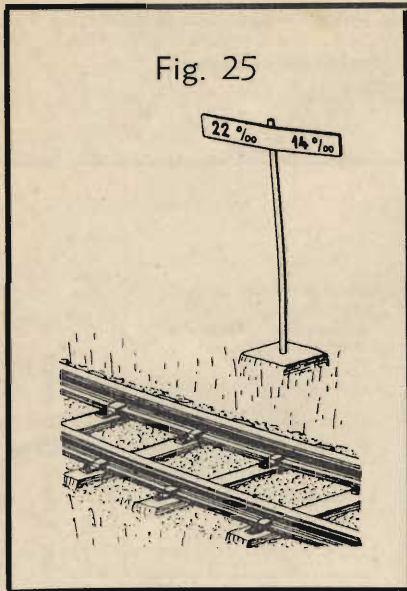
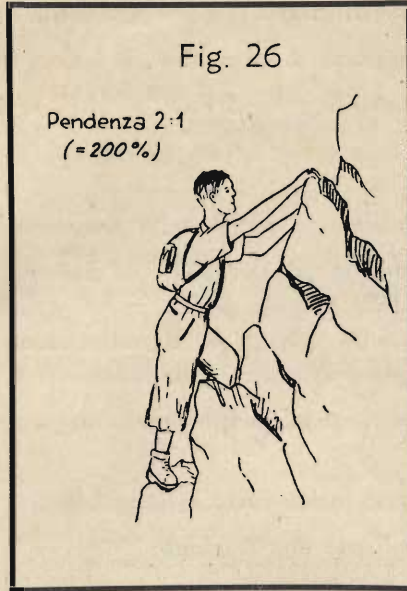
La pendenza *S* è quindi:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g} = \frac{16}{8} = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

La pendenza di una valvola si esprime quindi in milliampère per volt $(\frac{\text{mA}}{\text{V}})$. Si può d'altronde esprimere anche in $\frac{\text{A}}{\text{V}}$; $2 \frac{\text{mA}}{\text{V}} = 0,002 \frac{\text{A}}{\text{V}}$, poichè $2 \text{ mA} = \frac{2}{1000} \text{ A} = 0,002$ A.

Avremmo potuto scegliere altri due punti della curva, per esempio *D* ed *E*, ed avremmo ottenuto il medesimo risultato. La distanza da *D* ad *F*, misurata in milliampère, è 8; quella da *E* ad *F* espressa in volt è 4; quindi:

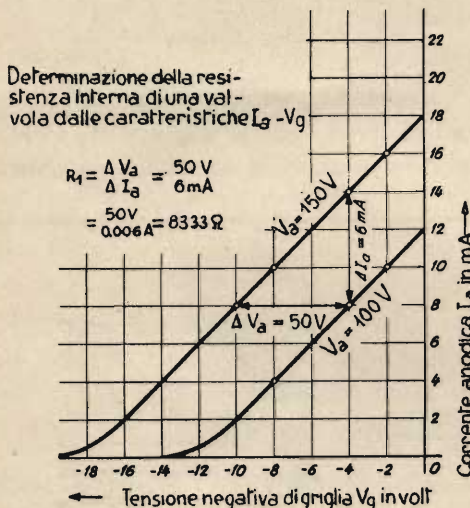
$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta V_g} = \frac{8}{4} = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$$

Per determinare la pendenza di una caratteristica ci si riferisce sempre al tratto rettilineo della curva.

La pendenza di una caratteristica viene espressa in modo analogo alla pendenza o salita delle strade o dei tracciati ferroviari. Avrete forse già osservato qualche volta, accanto ai binari, dei cartelli simili a quello raffigurato nella fig. 25.

Quando su uno di questi cartelli c'è scritto, per esempio, 14 ‰, ciò significa che su un percorso di 1000 metri si deve superare una salita di 14 metri.

Nella nostra valvola la pendenza è di 2 : 1 (2 mA per V). Ciò corrisponderebbe per esempio, in una scarpata, alla salita di 2 m per 1 m di distanza (fig. 26).

La resistenza interna.

Dobbiamo spiegare ora un terzo concetto, quello della *resistenza interna* di una valvola. Essa esprime la resistenza nell'interno della valvola, tra catodo ed anodo, ossia la resistenza, che devono superare gli elettroni, per passare dal filamento alla placca. Essa dipende da numerosi fattori e si può pure determinare dalla caratteristica della valvola. Osservate a questo proposito la fig. 27, nella quale sono riportate due caratteristiche della medesima valvola, riferite rispettivamente alle tensioni anodiche di 150 e di 100 volt.

Con —4 volt di polarizzazione di griglia e 150 volt di tensione di placca passa una corrente anodica I_a = 14 mA. Con la medesima polarizzazione V_g = —4 V, ma con 100 V di tensione anodica, passa la corrente I_a = 8 mA. Per aumentare la corrente anodica da 8 a 14 mA, quindi di ΔI_a = 14 — 8 = 6 mA, occorre elevare la tensione di placca da 100 V a 150 V, quindi di ΔV_a = 50 V.

Per calcolare la resistenza interna ci serviamo della legge di Ohm

$$R = \frac{V}{I}$$

In luogo di V inseriamo la variazione della tensione anodica ΔV_a, ed in luogo di I la variazione della corrente anodica ΔI_a, dimodochè *per la resistenza interna* si ottiene la seguente espressione:

$$R_i = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a}$$

Formula (33)

Volendo ottenere il risultato in ohm non dobbiamo, naturalmente, inserire ΔI_a in mA, ma in A, quindi ΔI_a = 6 mA = 0,006 A. Calcoliamo così:

$$R_i = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} = \frac{50 \, V}{6 \, mA} = \frac{50 \, V}{0{,}006 \, A} = 8333 \text{ ohm}$$

La resistenza interna della valvola dalla caratteristica di fig. 27 equivale dunque a 8333 ohm.

Anzichè ad una polarizzazione di griglia di —4 volt, avremmo anche potuto riferirci ad una polarizzazione di griglia di —8, oppure di —2 volt. Con —8 volt troviamo una corrente anodica che una volta è uguale a 10 mA, l'altra a 4 mA. La differenza è ancora ΔI_a = 6 mA, dimodochè il risultato finale rimane invariato.

Con —2 volt di polarizzazione di griglia troviamo 16 mA di corrente anodica. Anche qui la differenza è sempre ΔI_a = 6 mA.

Risulterà in seguito tutta l'importanza del concetto di *resistenza interna* di una valvola.

Come avete appreso tuttora, la resistenza interna di una valvola non si calcola partendo dalla tensione e dalla corrente, come una resistenza comune, ma considerando le *variazioni* della tensione e della corrente anodiche. *La resistenza interna di una valvola si manifesta in relazione a grandezze perennemente variabili*, come correnti e tensioni alternate; essa si può considerare come *resistenza della valvola alla corrente alternata. La resistenza interna non deve invece essere usata per calcolare alcun valore in corrente continua.*

L'equazione di Barkhausen.

Tra l'infraeffetto D, la pendenza S e la resistenza interna R_i sussiste una relazione nota col nome di *formula di Barkhausen.*

Essa è la seguente:

$$\boxed{D \,.\, S \,.\, R_i = 1} \qquad \text{Formula (34)}$$

In questa equazione D non dev'essere espresso in percento, ma col valore che si ottiene calcolando

$$D = \frac{\Delta V_g}{\Delta V_a}$$

Inoltre bisogna esprimere S in $\frac{A}{V}$.

Dato che il fattore d'amplificazione non è altro che il reciproco dell'infraeffetto, l'equazione di Barkhausen si può scrivere anche nel seguente modo:

$$\frac{S \,.\, R_i}{\mu} = 1 \quad \text{oppure}$$

$$\boxed{\mu = S \,.\, R_i} \qquad \text{Formula (34-}a\text{)}$$

Conoscendo la pendenza e l'infraeffetto (oppure il fattore di amplificazione), è facile calcolare la resistenza interna mediante questa formula. Per la valvola della fig. 28 la pendenza equivale a $S = 2 \frac{\text{mA}}{\text{V}} = 0{,}002 \frac{\text{A}}{\text{V}}$; l'infraeffetto si calcola, p. es., per $I_a = 8$ mA ($V_g = -14$ V per $V_a = 200$ V; $V_g = -4$ V per $V_a = 100$ V), da $\Delta V_g = 10$ V e $\Delta V_a = 100$ V in:

$$D = \frac{\Delta V_g}{\Delta V_a} = \frac{10}{100} = \frac{1}{10} = 0{,}1, \text{ ossia } 10\ \%$$

La resistenza si trova trasformando la formula di Barkhausen nel modo seguente:

$$D \,.\, S \,.\, R_i = 1$$

$$R_i = \frac{1}{D \,.\, S} = \frac{1}{0{,}1 \,.\, 0{,}002} = \frac{1}{0{,}0002} = \frac{10\,000}{2} = 5000 \text{ ohm}$$

Rilevando il valore della resistenza interna dalle caratteristiche della fig. 28, è possibile controllare l'esattezza del calcolo. Infatti $\Delta V_a = 100$ V (200 — 100) e $\Delta I_a = 20$ mA (per $V_g = -4$ V : $I_a = 28$ mA per $V_a = 200$ V e $I_a = 8$ mA per $V_a = 100$ V).

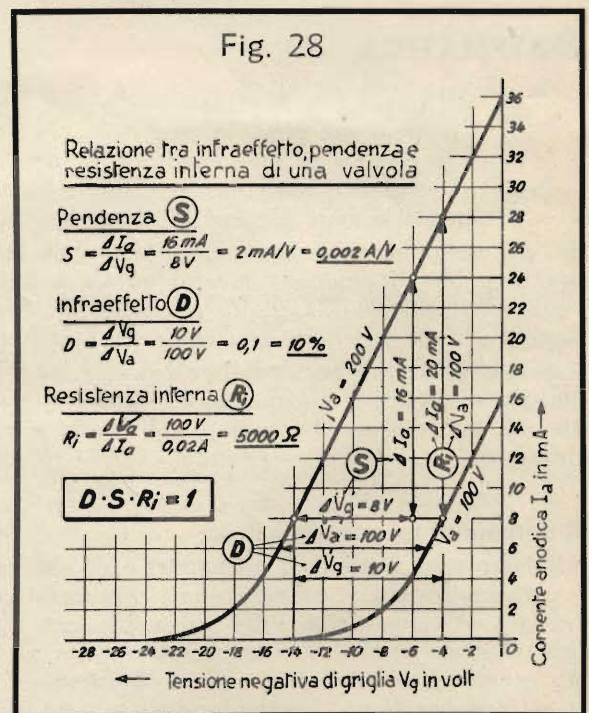
$$R_i = \frac{\Delta V_a}{\Delta I_a} = \frac{100 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = \frac{100 \text{ V}}{0{,}02 \text{ A}} = 5000 \text{ ohm}$$

Nello stesso modo come si calcola R_i mediante la formula di Barkhausen quando sono note S e D, si può calcolare l'una o l'altra di queste grandezze, quando siano date le altre due. La resistenza interna di una valvola sia per esempio 4000 ohm, la pendenza sia 1 mA/V = 0,001 A/V. Qual è l'infraeffetto?

Soluzione: $D \,.\, S \,.\, R_i = 1$, e quindi $D = \frac{1}{S \,.\, R_i} = \frac{1}{0{,}001 \,.\, 4000} = \frac{1}{4} = 0{,}25$, ossia 25 %.

Se fosse stato richiesto il fattore d'amplificazione, avremmo trovato $\mu = \frac{1}{D} = \frac{1}{0{,}25} = 4$.

Dovendo calcolare la pendenza ed essendo dati una resistenza interna $R_i = 6000$ ohm ed un infraeffetto $D = 20$ % ossia 0,2, si trova:

$$S = \frac{1}{D \,.\, R_i} = \frac{1}{0{,}2 \,.\, 6000} = \frac{1 \text{ A}}{1200 \text{ V}} = \frac{1000}{1200} = \frac{10}{12} = \frac{5}{6} = 0{,}83 \frac{mA}{V}$$

Domande

1. Come si comporta la corrente anodica in una valvola termoionica dotata di griglia a spire strette, e come in una valvola con griglia a spire larghe?
2. Facendo più strette le spire della griglia, il fattore d'amplificazione diventa maggiore o minore?
3. In che modo si esprime la pendenza di una valvola?
4. Come si procede per calcolare la resistenza interna di una valvola, quando sono dati il fattore d'amplificazione e la pendenza?

Risposte alle domande di pag. 15

1. La *reattanza* è quella specie di resistenza, che si manifesta nelle induttanze, ossia nelle bobine, e nelle capacità, ossia nei condensatori. Le reattanze non sono dovute ad una vera resistenza, che ostacoli il moto degli elettroni, ma sono da ascriversi al lavoro occorrente per la formazione dei campi magnetici o elettrostatici. Nelle reattanze non si sviluppa calore e non esiste quindi un *consumo di watt.*
2. Nel caso delle bobine si parla di « *reattanza induttiva* »; in quello dei condensatori, di « *reattanza capacitiva* ».
3. Nelle reattanze capacitive la corrente precede la tensione; in quelle induttive essa la segue.
4. La reattanza di una bobina si calcola con la seguente formula:

$$R_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L = 6{,}28 \cdot f \cdot L$$

La reattanza capacitiva si calcola invece come segue:

$$R_C = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{6{,}28 \cdot f \cdot C}$$

MATEMATICA

Il Capitolo « Matematica », a pag. 8 di questa Dispensa, riportava molte nuove nozioni che certo avete però già ripetuto così bene, da permetterci di continuare esattamente dal punto al quale eravamo giunti. Da quando conoscete le potenze decadiche, anche i numeri grandissimi o piccolissimi non vi spaventano più. Possedete infatti il metodo per trasformarli in numeri di dimensioni comuni, con i quali è assai più facile far di conto.

Se, per esempio, vi diciamo che il diametro di un elettrone misura solo pochi trilionesimi di millimetro, siete ora in grado di giudicare meglio questa indicazione numerica. Un trilione si scrive con 1 seguito da 12 zeri, ossia 1 000 000 000 000. Molto più semplice è scriverlo sotto forma di potenza, come avete già imparato: 1 trilione $= 1 \cdot 10^{12}$. Sempre con analoga notazione, un trilionesimo di millimetro si scrive: $1 \cdot 10^{-12}$ mm.

Esprimendo la lunghezza della circonferenza terrestre, che è di 40 000 000 metri, facciamo più presto a scrivere $40 \cdot 10^6$ metri. Se l'esprimiamo in chilometri, diciamo che la circonferenza terrestre misura 40 000 km, ossia $40 \cdot 10^3$ km. Ancora due esempi tolti dalla tecnica dell'alta frequenza: la frequenza di 1,59 megahertz viene introdotta nei calcoli scrivendo: $1{,}59 \cdot 10^6$ hertz; la capacità di 27,5 picofarad si scrive analogamente $27{,}5 \cdot 10^{-12}$ farad.

Il sistema di misura decadico.

Abbiamo testè parlato di millimetri e di chilometri, mentre voi sapete che l'unità di lunghezza è il metro. Vi è noto inoltre che si usano anche i centimetri ed i decimetri. Tutte queste varie unità di misura sono collegate tra loro ed hanno origine dal metro. Un metro si divide infatti in 10 decimetri, in 100 centimetri e in 1000 millimetri. Ogni unità è divisa successivamente in 10 parti, poichè calcolare col numero 10 è molto facile. Questo genere di suddivisione o di moltiplicazione (p. es., nel chilometro, che ha 1000 metri) si chiama « *sistema di misura decadico* », perchè impiega solo multipli o sottomultipli di 10 (in greco « *deca* »). Ora che conoscete le potenze di dieci e che vi siete certamente accorto come esse si prestino egregiamente a questo scopo, possiamo presentarvi la seguente tabellina:

$1\ \text{km} = 1000\ \text{m} = 1 \cdot 10^3\ \text{m}$; $\quad 1\ \text{cm} = 1/100\ \text{m} = 1 \cdot 10^{-2}\ \text{m}$;

$1\ \text{dm} = 1/10\ \text{m} = 1 \cdot 10^{-1}\ \text{m}$; $\quad 1\ \text{mm} = 1/1000\ \text{m} = 1 \cdot 10^{-3}\ \text{m}$

Il numero 1 davanti alla potenza può essere senz'altro tralasciato, poichè se davanti alla potenza non c'è alcun numero, si capisce che essa va presa *una sola volta.*

Completando la serie di unità sopra menzionate, otteniamo la tabella che segue:

$1\ \text{km} = 10^3\ \text{m} = 10^4\ \text{dm} = 10^5\ \text{cm} = 10^6\ \text{mm}$;
$1\ \text{m} = 10^1\ \text{dm} = 10^2\ \text{cm} = 10^3\ \text{mm} = 10^{-3}\ \text{km}$;
$1\ \text{dm} = 10^1\ \text{cm} = 10^2\ \text{mm} = 10^{-1}\ \text{m} = 10^{-4}\ \text{km}$;
$1\ \text{cm} = 10^1\ \text{mm} = 10^{-1}\ \text{dm} = 10^{-2}\ \text{m} = 10^{-5}\ \text{km}$;
$1\ \text{mm} = 10^{-1}\ \text{cm} = 10^{-2}\ \text{dm} = 10^{-3}\ \text{m} = 10^{-6}\ \text{km}$

Vi è altresì noto che lo stesso millimetro viene suddiviso ulteriormente in 1000 parti, denominate « *micron* ».

Chilometri, decimetri, centimetri, millimetri, micron non sono quindi altro che multipli o sottomultipli decadici di un'unità primitiva, in questo caso il *metro*. Questo sistema di unità di misura è usato vantaggiosamente in tutta la tecnica.

Esempi:

1 000 ohm	= 1 chiloohm	(1 kΩ)	= 10^3 ohm
1 000 000 ohm	= 1 megaohm	(1 MΩ)	= 10^6 ohm
1 000 volt	= 1 chilovolt	(1 kV)	= 10^3 volt
1/1 000 volt	= 1 millivolt	(1 mV)	= 10^{-3} volt
1/1 000 000 ampère	= 1 microampère	(1 μA)	= 10^{-6} ampère

Incontreremo durante il Corso altri multipli decadici, perciò vi presentiamo un'altra tabella, dalla quale potrete rilevarne il significato.

Prefissi esprimenti multipli e sottomultipli decimali delle unità.

Questa tabella indica quali sono le frazioni o i multipli espressi con i termini come « micro », « chilo », ecc. Questi prefissi possono impiegarsi universalmente per tutte le grandezze; si vedano gli esempi.

T	= tera	= 10^{12}	= 1 000 000 000 000	(1 trilione di volte)
G	= giga	= 10^9	= 1 000 000 000	(1 miliardo di volte)
M	= mega	= 10^6	= 1 000 000	(1 milione di volte)
k	= chilo	= 10^3	= 1 000	(mille volte)
h	= etto	= 10^2	= 100	(cento volte)
D	= deca	= 10^1	= 10	(dieci volte)
d	= deci	= 10^{-1}	= 0,1	(1 decimo)
c	= centi	= 10^{-2}	= 0,01	(1 centesimo)
m	= milli	= 10^{-3}	= 0,001	(1 millesimo)
μ	= micro	= 10^{-6}	= 0,000 001	(1 milionesimo)
n	= nano	= 10^{-9}	= 0,000 000 001	(1 miliardesimo)
p	= pico	= 10^{-12}	= 0,000 000 000 001	(1 trilionesimo)

In merito a questa tabella bisogna osservare che esiste anche la parola « *bilione* », il cui significato però è ambiguo, poichè negli Stati Uniti d'America 1 bilione = 10^9, mentre 10^{12} si chiama « *trilione* », invece in Germania 1 bilione = 10^{12}, mentre 10^9 si chiama « *miliardo* ».

In italiano si preferisce evitare la parola « *bilione* » per non fare confusioni, pur essendo essa usata generalmente come sinonimo di *miliardo*. Ecco quindi il vantaggio di usare i prefissi *tera* e *giga*, oppure semplicemente le potenze di dieci, con cui è abolita qualsiasi possibilità di malintesi.

Si osservi inoltre che la M maiuscola significa *un milione di volte*, mentre quella *minuscola* significa *un millesimo*.

Purtroppo non tutti i tecnici si attengono alla regola. Spesso s'incontra un'M maiuscola per *milli* (p. es. MA per *milliampère*) oppure per *micro* (p. es., MF per *microfarad*). Ciò è sbagliato, ma capita sovente. In caso di dubbio, si osservi la potenza decimale.

Le designazioni dei decimali da 1/1000 (« *milli* ») a 1000 (« *chilo* ») vi sono sicuramente già ben note. Occorre però che impariate anche le altre abbreviazioni, e particolarmente quelle più usate in elettrotecnica, che sono: mega, chilo, milli, micro e pico. Queste le dovrete conoscere a memoria.

Risposte alle domande di pag. 22

1. Quando le spire della griglia sono strette, la corrente anodica è piccola; quando esse sono larghe, la corrente anodica è più forte.
2. Facendo più strette le spire della griglia, il fattore d'amplificazione aumenta.
3. La pendenza S di una valvola si esprime in milliampère per volt (mA/V). La pendenza indica il quoziente della variazione della corrente anodica ΔI_{a}, in mA, per una variazione della tensione di griglia ΔV_g, in V.
4. La resistenza interna di una valvola, quando sono dati il fattore d'amplificazione e la pendenza, si calcola con la formula di Barkhausen $R_i \cdot S = \mu$, risolvendo per R_i. Qui S va inserito in A/V, e non in mA/V.

COMPITI

1. *a*) Qual è il valore della reattanza di una bobina di 400 μH d'induttanza, alla frequenza di 468 kHz?

   b) Quale capacità dovrebbe avere un condensatore, per presentare alla medesima frequenza di 468 kHz la stessa reattanza (in questo caso però di natura capacitiva) della bobina di cui alla domanda precedente?

2. Che cosa significa « sfasamento »?

3. Disegnate il diagramma della tensione e dell'intensità di una corrente alternata, per la quale la tensione è in anticipo sulla corrente di 30°.

4. Disegnate il diagramma della tensione e dell'intensità di una corrente alternata, per la quale la tensione è in ritardo sulla corrente di 45°.

5. Determinate, per mezzo della figura qui accanto, i valori dell'infraeffetto, della pendenza e della resistenza interna della valvola considerata, nel punto corrispondente a V_g = —2 volt, V_a = 100 volt.

6. Di una valvola sono noti la pendenza = 2,5 mA/V e l'infraeffetto = 20%. Qual è la resistenza interna della valvola?

7. Quale relazione sussiste tra l'infraeffetto ed il fattore d'amplificazione di una valvola?

8. Come si chiama quel sistema di telefonia, nel quale l'alimentazione del microfono avviene per mezzo di una batteria incorporata nella stazione stessa?

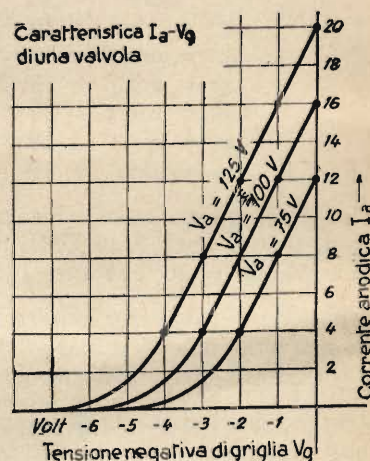
9. Separate, disegnandoli ciascuno per conto proprio, il circuito di chiamata ed il circuito telefonico dello schema di fig. 11, pag. 6.

10. Calcolate le seguenti espressioni, servendovi delle potenze:

    a) 27 300 . 0,0065 = ?

    b) 267 000 . 167 = ?

    c) $\frac{1740 \cdot 0{,}079}{0{,}00352 \cdot 2620} = ?$

    d) $\frac{79\,500 \cdot 0{,}00055 \cdot 182\,000}{0{,}0198 \cdot 225\,000 \cdot 0{,}07} = ?$

Per inviare i vostri compiti alla correzione, attenetevi diligentemente alle norme indicate nella Dispensa N. 1.

FORMULE CONTENUTE NELLA DISPENSA N. 10

Formula:			Pag.
(27)	Reattanza induttiva	$= R_{ind} = 2\pi . f . L$ (ohm)	„ 12
(28)	Reattanza induttiva	$= R_{ind} = \omega . L$	„ 13
(29)	Reattanza capacitiva	$= R_{cap} = \dfrac{1}{2\pi . f . C}$	„ 13
(30)	Reattanza capacitiva	$= R_{cap} = \dfrac{1}{\omega . C}$	„ 13
(31)	Infraeffetto	$= D = \dfrac{\Delta V_g}{\Delta V_a}$	„ 17
(32)	Pendenza	$= S = \dfrac{\Delta I_a}{\Delta V_g}$	„ 19
(33)	Resistenza interna	$= R_i = \dfrac{\Delta V_a}{\Delta I_a}$	„ 20
(34)	Formula di Barkhausen	$D . S . R_i = 1$	„ 21
(34-a)	Formula di Barkhausen	$\mu = S . R_i$	„ 21